PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 7/8 — 15. Juni 1941 — Redaktionsschluß für Nr. 9 am 20. Mai 1941 — 42. Jahrgang

INHALT:

Abhandlungen:

A. Scheibe und U. Adelsberger, Normalfrequenz-Aussendung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt über den Deutschlandsender werktäglich 10 h 50 min. für April 1941. S. 117.

E.-F. Richter, Über den Wechselstromwiderstand tonsubstanzhaltiger, z. T. auch magnesiumsilikathaltiger, poröser keramischer Werkstoffe (Gruppe IV B und V der Eigenschaftstafel DIN 40685) bei Temperaturen bis 600°. S. 117.

M. Knoll, Nachweis aufgewachsener Oxydschichten des Eisens mit dem Elektronenabtaster. Mit Tafel III. S. 120.

F. H. Müller, Fadenentstehung, Fadeneigenschaften und molekulare Struktur. S. 123.

P. Görlich, Beitrag zur Frage der Sekundäremission aufgedampfter Erdalkalimetallschichten. S. 129.

H. Spengler, Untersuchung der Relaxationszeit an Gemischen von polaren und unpolaren Flüssigkeiten. S. 134.

G. Bekow, Sekundärelektronenemission von Kupfereinkristallen bei kleinen Primärgeschwindigkeiten. S. 144.

Besprechungen. S. 145.

Vorlesungsverzeichnis für das Sommersemester 1941. S. 149.

Nachrichten. S. 156.

Berichtigung. S. 156.

ABHANDLUNGEN

Normalfrequenz-Aussendung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt über den Deutschlandsender werktäglich 10 h 50 min.

Die Zahlen der Spalte 2 geben an, um wieviel in 10^{-9} des Wertes der Betrag der ausgestrahlten Frequenz vom Sollwert 1000,000000 Hz abweicht. Die Abweichung wurde mittels der Quarzuhren der Reichsanstalt bestimmt.

1	2	1	2
Tag	1941 April	Tag	1941 April
1.	+11	16.	+21
2.	+16	17.	+25
3.	+9	18.	+21
4.	+8	19.	+22
5.	+7	20.	—
6.	—	21.	+25
7.	−2	22.	+15
8.	+6	23.	+15
9.	+17	24.	+14
10.	+10	25.	+16
11.	—	26.	+26
12.	+19	27.	—
13.	—	28.	+29
14.	—	29.	+34
15.	+26[1])	30.	−1

1) Aussendung nur $1^1/_2$ Minuten.

Änderung der Sendezeit: Seit 1. Mai 1941 erfolgt die Aussendung der Normalfrequenz 1000 Hz werktäglich von 10 h 45 min bis 10 h 51 min, der Normalfrequenz 440 Hz von 10 h 51 min bis 10 h 54 min.

Berlin-Charlottenburg, den 7. Mai 1941.

Physikalisch-Technische Reichsanstalt,
Abteilung II.
Im Auftrage:
A. Scheibe, U. Adelsberger.

Über den Wechselstromwiderstand tonsubstanzhaltiger, z. T. auch magnesiumsilikathaltiger, poröser keramischer Werkstoffe (Gruppe IV B und V der Eigenschaftstafel DIN 40685) bei Temperaturen bis 600°

Von E.-F. Richter

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

In einer früheren Arbeit[1]) wurde gezeigt, daß die Anwendung von Gleichspannung zur Messung des Isolationswiderstandes keramischer Isolierstoffe bei erhöhten Temperaturen Sekundärprozesse zur Folge haben kann, die das Meßergebnis beeinflussen. Die mit Gleichspannung gemessenen Widerstandswerte haben somit für Wechselspannung keine Gültigkeit. Es wurde daher zur Gewinnung geeigneter Eigenschaftswerte für den Isolationswiderstand bei Wechselspannung technischer Frequenz ein Prüfverfahren entwickelt[2]), das bei großen Leitfähigkeiten direkt aus Wechselspannung und Scheinstromstärke, bei großem Isolationsvermögen auf dem Umwege über die Ermittlung der Dielektrizitätskonstante und des dielektrischen Verlustfaktors gestattet, reproduzierbare Werte des spezifischen elektrischen Wechselstromwiderstandes zu erhalten. Dabei wurden gleichzeitig die Bestimmungsgrößen für die dielektrischen Eigenschaften gewonnen[3]). Das in (II) beschriebene

1) G. Pfestorf und E.-F. Richter, Physik. Zeitschrift **39**, 141, 1938, im folgenden mit (I) bezeichnet.

2) E.-F. Richter, Physik. Zeitschr. **40**, 597, 1939, im folgenden mit (II) bezeichnet.

3) E.-F. Richter, Physik. Zeitschr. **41**, 229, 1940, im folgenden mit (III) bezeichnet.

Prüfverfahren wurde vom Verband Deutscher Elektrotechniker in die „Leitsätze für die Prüfung keramischer Isolierstoffe" (VDE 0335)[4]) zur Bestimmung des spezifischen Durchgangswiderstandes ϱ in Abhängigkeit von der Temperatur (§ 24) aufgenommen. Unter Verwendung eingebrannter Platinelektroden ist es mit dem in (II) geschilderten Verfahren ohne weiteres möglich, dichte keramische Massen der Gruppen I–IV_A der Eigenschaftstafel keramischer Isolierstoffe für die Elektrotechnik[5]) zu untersuchen.

Bei der Prüfung der hochwärmefesten tonsubstanzhaltigen, zum Teil auch magnesiumsilikathaltigen Massen der Gruppen IV_B und V werden infolge der porösen Struktur der Werkstoffe besondere Maßnahmen bei der Aufbringung der Elektroden erforderlich, so daß eine gesonderte Untersuchung dieser Massen notwendig wurde.

Elektroden. Für die Untersuchung pulverförmiger Isoliermassen für elektrische Heizkörper ist bereits ein Meßverfahren[6, 7]) entwickelt worden, bei dem die Probe in einen Tiegel gefüllt und durch einen Stempel zusammengedrückt wird. Tiegel und Stempel dienen gleichzeitig als Elektroden. Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit war, fertig gebrannte Werkstoffproben zu untersuchen, es wurden daher nach dem Schoopschen Metallspritzverfahren nicht zu dünne Nickelschichten auf die Körper aufgespritzt, die sehr fest hafteten und so beständig waren, daß mehrmalige Erwärmungen auf 600° ohne wesentlichen Verlust an Bedeckung der Oberfläche ausgeführt werden konnten. Die Schichten oxydierten bei der Messung zwar etwas, die Oxydschicht setzte indessen dem Isolationsstrom keinen nennenswerten Widerstand entgegen, vielmehr wurden als Übergangswiderstand zwischen Stromzuführung und Meßbelag nur Bruchteile eines Ohm gefunden. Die Aufrauhung der Oberflächen vor der Bespritzung ist unnötig, wohl aber ist eine sorgfältige Reinigung von anhaftendem Materialpulver zu empfehlen. Auf einer Seite der kreisförmigen Platten wurde in die Belegung mit Hilfe eines Widia-Stahles ein 1 mm breiter Schutzspalt so tief eingedreht, daß zwischen Meßbelegung und Schutzring gute Isolation festgestellt wurde.

Meßverfahren. Die Untersuchung wurde nach dem in (II) geschilderten Verfahren bei 50periodiger Wechselspannung von 100 Volt durchgeführt.

Ergebnisse. Einige Prüfkörper zeigten vor Beginn der Messung bei Raumtemperatur hohe dielektrische Verluste. Nach kurzzeitiger Erwärmung konnte festgestellt werden, daß der Verlustfaktor beträchtlich abgenommen hatte. Die Absenkung erfolgte, wie in einer besonderen Versuchsreihe bei langsamer Erwärmung gefunden wurde, bereits unterhalb von 70°. Eine anschließende 14tägige Lagerung in Luft von 65 bzw. 80 Proz. relativer Feuchtigkeit verringerte den Durchgangswiderstand des Werkstoffes Sipalox bei Raumtemperatur auf etwa ein Achtzigstel bzw. ein Hundertsechzigstel des Wertes nach Trocknung, so daß der hohe Wert des dielektrischen Verlustfaktors bei Raumtemperatur im Anlieferungszustand auf absorbierte Feuchtigkeit zurückgeführt werden muß. Die bei fallenden Temperaturen gemesse-

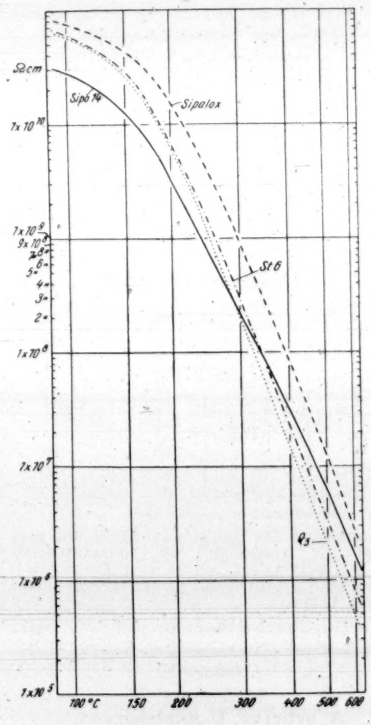


Abb. 1. Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstandes ϱ.

4) Elektrotechn. Zeitschr. **61**, 803, 1940.
5) DIN 40685 „Keramische Isolierstoffe für die Elektrotechnik. Gruppen und Eigenschaften".
6) K. Heine, Diss. Hannover 1938.
7) K. Backhaus, Ber. d. Dtsch. Keram. Ges. **19**, 461, 1938.

nen Werte stimmen auch hier genau wie in (II) mit den nach einstündiger Vorwärmung bei konstanter Temperatur festgestellten überein. Die Ergebnisse der Messung des spezifischen Widerstandes sind in Abb. 1 in dem bereits in (I) und (II) gewählten logarithmischen Maßstab für den spezifischen Widerstand über der Temperatur aufgetragen, für die die reziproken Werte der absoluten Temperatur als Maß dienen. Die Abb. 1 zeigt für die eine untersuchte Masse der Gruppe IV_B (Sipa 14) von 600—200° eine aus zwei Geraden zusammengesetzte Abhängigkeit, die unterhalb 200° in sanftem Bogen flacher wird. Die drei Massen der Gruppe V (StG, Q 5 und Sipalox) zeigen größere Steilheit des mehr oder weniger geradlinigen Teiles oberhalb 200° gegenüber Sipa 14, die drei Linienzüge laufen ungefähr parallel, die Widerstandswerte liegen etwa eine Größenordnung höher als bei Hartporzellan und etwa zwei Größenordnungen niedriger als bei Calit [vgl. (II)].

Die bis zu etwa 300° aufgenommenen dielektrischen Bestimmungsgrößen sind in logarithmischem Maß nach (III) in den folgenden Abb. 2—4 in Abhängigkeit von der Temperatur wiedergegeben, auf deren Achse auch hier die reziproken Werte der absoluten Temperatur aufgetragen sind. Abb. 2 gibt den Verlauf des

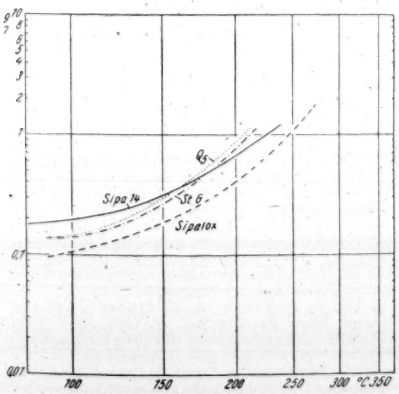


Abb. 2. Temperaturabhängigkeit des dielektrischen Verlustfaktors tg δ.

dielektrischen Verlustfaktors tg δ wieder. Die Kurven für Q 5 und StG laufen in engem Abstand parallel, Sipalox hat eine ähnliche Temperaturabhängigkeit von tg δ mit etwa der Hälfte des Wertes des Verlustfaktors der beiden anderen Massen für gleiche Temperaturen. Der Werkstoff Sipa 14 der Gruppe IV_B unterscheidet sich auch hier von den Werkstoffen der Gruppe V. Die Zunahme des Verlustfaktors mit der Temperatur ist sehr viel geringer als bei den drei anderen untersuchten Werkstoffen. Der Vergleich mit der Abb. 1 von (III) zeigt, daß die porösen Werkstoffe denen der Gruppen I und IV_A oberhalb 120° überlegen sind.

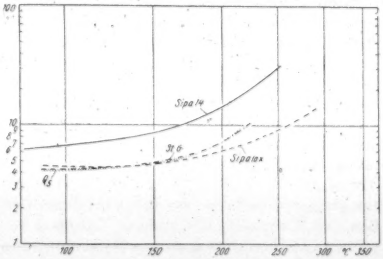


Abb. 3. Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante ε.

Die Dielektrizitätskonstanten ε (Abb. 3) liegen ebenfalls unter denen der dichten Werkstoffe der Gruppen I und IV_A, auch hier bestehen größere Unterschiede zwischen Gruppe IV_B und Gruppe V, der Werkstoff

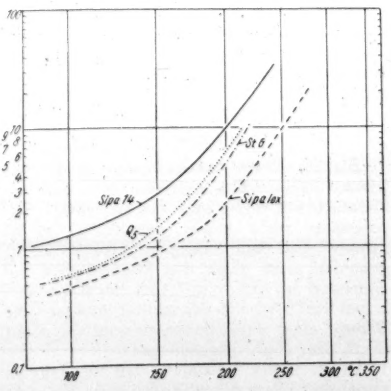


Abb. 4. Temperaturabhängigkeit der Verlustziffer ε tg δ.

Sipalox zeigt innerhalb der Gruppe V die geringste Zunahme von ε mit der Temperatur.

Die in Abb. 4 gezeichnete Kurve der Verlustziffer ε tg δ des Werkstoffes Sipa 14 (Gruppe IV_B) verläuft zwar unter etwa 120° oberhalb der Kurven für die Gruppen I und IV_A der Arbeit (III), ihr Anstieg ist aber wesentlich

flacher, so daß die Verlustleistungen bei 200° nur etwa ein Drittel der von Ardostan beträgt. Um den Faktor 3 ist die Verlustziffer des Werkstoffes Sipalox geringer als die von Sipa 14, während die Werte der übrigen untersuchten Stoffe der Gruppe V zwischen den beiden extremen Kurven liegen.

Der Firma Steatit-Magnesia Aktiengesellschaft danke ich für die Unterstützung dieser Arbeit durch Überlassung der Prüfplatten.

Zusammenfassung. Poröse keramische Werkstoffe der Gruppen IV_B und V werden zwischen 100 und 600° mit Wechselspannung von 50 Hz auf ihren Isolationswiderstand untersucht. Gleichzeitig werden der dielektrische Verlustfaktor, die Dielektrizitätskonstante und die Verlustziffer in Abhängigkeit von der Temperatur gemessen und mit den entsprechenden Größen der Werkstoffe der anderen Gruppen verglichen. Als Elektroden dienen Nickelschichten, die nach dem Schoopschen Spritzverfahren aufgebracht werden.

Berlin, im Mai 1941.

(Eingegangen 9. Mai 1941)

Nachweis aufgewachsener Oxydschichten des Eisens mit dem Elektronenabtaster

Von M. Knoll

Mitteilung aus dem Elektrotechnischen Laboratorium der Technischen Hochschule Berlin, Abteilung für Röhrentechnik

Mit Tafel III

Blankes Eisen, das kurze Zeit in konzentrierte Salpetersäure getaucht war, wird bekanntlich von dieser und von verdünnter Salpetersäure nicht weiter angegriffen; es ist „passiv" und damit weitgehend korrosionsfest geworden, auch gegen den Wasserdampf und Sauerstoff der Luft. Als Ursache für dieses Verhalten wird heute von den meisten Autoren[1]) die Bildung einer unsichtbaren dünnen Oxydhaut (Fe_2O_3 oder Fe_3O_4) angenommen.

Es ist ferner bekannt[2]), daß im Vakuum niedergeschlagene dünne Eisenspiegel, die nicht mit Luft in Berührung kamen, auch von konzentrierter Salpetersäure aufgelöst werden, also „aktiver" sind als luftberührte Eisenflächen. Der normale Passivierungsvorgang einer frischen Eisenoberfläche gelingt also nur dann, wenn vorher durch den Sauerstoff der Luft eine „Vorpassivierung" der vakuumaktiven Schicht stattgefunden hat. Durch Erhitzen im Vakuum läßt sich die an Luft gebildete Oxydschicht entfernen und der „aktive" Zustand wiederherstellen.

Auch auf anderen Metallen, z. B. Kupfer und Aluminium, treten bekanntlich ähnliche Oxydhäute auf. Die Schichtdicke solcher Oxydhäute ist sehr klein (von der Größenordnung 1 bis 10 mμ); die mikroskopischen Bestimmungsmethoden ihrer Eigenschaften erfordern im allgemeinen eine Ablösung des Häutchens von seiner Unterlage[3]), die nicht immer ohne Veränderung des Gefüges vor sich zu gehen scheint[4]). In der vorliegenden Arbeit wurde daher der Versuch gemacht, die unsichtbare Passivschicht in unabgelöstem Zustand mit dem Elektronenabtaster[5]) nachzuweisen. Zu diesem Zweck wurden Proben aktiven, luftoxydierten und säurepassiven reinen Eisens miteinander verglichen.

Das verwendete, von H. Te Gude gebaute Elektronenabtastgerät ist an anderer Stelle beschrieben[6]); die grundsätzliche Anordnung zeigt Fig. 1. Der Durchmesser der kreisförmigen Eisenproben betrug etwa 10 mm, ihre Dicke etwa 3 mm. Sie waren unmittelbar auf die blankpolierte, aus Nickel bestehende Signalplatte S_p aufgelegt und sämtlich vor der Behandlung mit feinem Schmirgelleinen abgerieben, mit Tetrachlorkohlenstoff und dann mit Alkohol entfettet und in einem besonderen Gefäß im Hochvakuum

1) Vgl. z. B. die Zusammenstellung in Gmelins Handbuch der angewandten Chemie. 8. Aufl., Band „Eisen", Teil A, Lief. 3, S. 345.

2) H. Freundlich, G. Patscheke und H. Zocher, Zeitschr. phys. Chemie **128**, 321 und **130**, 289, 1927.

3) Vgl. U. R. Evans, Korrosion, Passivität und Oberflächenschutz von Metallen. Deutsch von E. Pietsch, Berlin 1939, S. 55, und H. Mahl, Metallwirtsch. **19**, 488, 1940; dagegen läßt die von F. Goldmann und E. Rupp (Zeitschr. f. Chem. **8**, 180, 1930) und von O. Eisenhut durchgeführte Elektronenbeugungsmethode zwar die Zusammensetzung des Oxydhäutchens an einer bestimmten Stelle, nicht aber seine Struktur über einen größeren Oberflächenbereich erkennen.

4) Vgl. G. J. Finch, A. G. Quarell und H. Wilman, Trans. Faraday Soc. 31, 1060, 1935. Nur bei Rückstrahlungsabbildung mit dem Elektronenmikroskop (vgl. z. B. B. v. Borries und E. Ruska, Erg. d. ex. Naturwiss. 19, 272, 1941) kann auch die Feinstruktur aufgewachsener Oxydhäute sichtbar gemacht werden. Doch zeigt sich dort eine durch die schiefe Lage des Objekts bedingte starke einseitige Verkürzung oder eine von chromatischen Fehlern herrührende Unschärfe der Bilder.

5) Über dessen Wirkungsweise vgl. M. Knoll, Zeitschr. techn. Phys. **11**, 467, 1935, sowie M. Knoll und R. Theile, Zeitschr. f. Phys. **113**, 260, 1939. In der hier verwendeten Form eignet sich der Elektronenabtaster im Gegensatz zu hoch auflösenden Elektronenmikroskopen besonders zur Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit relativ großer Materialproben.

6) H. Te Gude, Diss. T. H. Berlin 1940.

mehrere Male minutenlang durch Hochfrequenzglühung so lange entgast worden, bis der Druck während des Glühens unter $5 \cdot 10^{-5}$ Torr blieb.

„Aktive" Proben. Da die Entgasungserhitzung in einem besonderen Gefäß geschehen mußte und sich bekanntlich die Oxydschicht schon innerhalb sehr kurzer Berührungszeit mit der Luft bilden kann, wurde bei der Untersuchung der aktiven Proben das Entgasungsgefäß nach dem Glühen mit Wasserstoff gefüllt und die betreffende Probe innerhalb weniger Sekunden in die vorher ebenfalls mit Wasserstoff gefüllte Abtaströhre gebracht. Wurde diese Vorsichtsmaßnahme weggelassen, so war zwischen „aktiven" und an Luft oxydierten Proben, auch wenn die ersteren nur einige Minuten mit Luft in Berührung kamen, kein Unterschied in der Tönung des Sekundäremissionsbildes festzustellen. Dagegen deuten verschiedene Beobachtungen darauf hin, daß die Entstehung der Luft-Oxydschicht um so langsamer vor sich geht, je reiner das Eisen ist (z. B. bei Karbonyleisen langsamer als bei dem ebenfalls untersuchten Armco-Eisen).

An Luft oxydierte Proben. Sie wurden durch einfaches Stehenlassen der Proben im Versuchsraum[7]) bei Zimmertemperatur erhalten.

Säurepassive Proben. Die Passivierung geschah durch 40 Minuten langes Liegen[8]) in konzentrierter ($D = 1{,}40$) Salpetersäure. Danach wurden die Proben in destilliertem Wasser, in Tetrachlorkohlenstoff und in Alkohol gespült und unmittelbar darauf in die Abtaströhre gebracht.

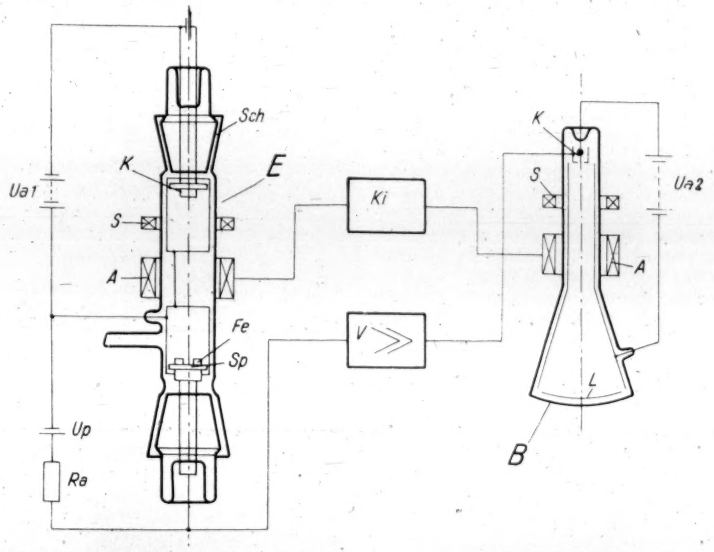


Fig. 1. Versuchsanordnung (schematisch). *E* Elektronenabtaster, *B* Bildschreibröhre, *K* Kathoden, *S* Sammelspulen, *A* Ablenkspulen, *L* Leuchtschirm, *Ua* Anodenspannungen, *Up* Objektvorspannung (~ 50 V), *Ra* Signalwiderstand, *Sp* Signalplatte, *Fe* Eisenproben, *Sch* Schliffe zum Auswechseln von Kathode und Objekten, *Ki* Kippgerät, *V* Breitbandverstärker.

Die erste Versuchsreihe (Fig. 2, Tafel III) gibt Sekundäremissionsbilder von je drei gleichzeitig abgetasteten Proben von Karbonyleisen[9]) wieder, wobei die Geschwindigkeit $Ua1$ der Abtastelektronen von links nach rechts zunimmt. Bei visueller Betrachtung zeigten die Proben (bis auf eine leichte Mattierung der säurepassivierten Probe) keinerlei Unterschied. Die Stromstärke

7) Nicht etwa unter Atmosphärendruck in der Abtaströhre.

8) Passivierungszeiten zwischen 10 Sekunden und 70 Minuten ergaben im Sekundäremissionsbild keinen merklichen Unterschied.

9) Freundlicherweise zur Verfügung gestellt vom Institut für Metallkunde der Technischen Hochschule Berlin (Prof. Dr. Hanemann). Herrn Dr. W. Hofmann sei an dieser Stelle für mehrere anregende Hinweise bestens gedankt.

des Abtaststrahls wurde in dieser und den folgenden Versuchsreihen stets sorgfältig konstant ($3 \cdot 10^{-6}$ A) gehalten, da von ihr Kontrastumfang und Schärfe des Bildes wesentlich abhängen.

Man sieht zunächst, daß die säurepassivierten Proben eine wesentlich[10]) höhere Sekundäremission aufweisen als die an Luft oxydierten und diese wiederum eine höhere als die „aktiven" Proben. Die Abnahme der Sekundäremission der Proben *l* und *s* mit höherer Elektronengeschwindigkeit scheint darauf hinzudeuten, daß bei höheren Geschwindigkeiten der Abtastelektronen die Passivschichten durchschlagen werden und mehr und mehr die Sekundäremission des reinen Eisens zur Geltung kommt. Die Nickelunterlage erscheint in dem Gebiet zwischen den einander nahe gegenüberliegenden Rändern der drei Proben wesentlich dunkler als an den übrigen Stellen; dies rührt nicht etwa von kleinerer Sekundäremission an diesen Stellen, sondern von der dort infolge der kleineren Feldstärke liegenden Raumladung her.

Daß der Sekundäremissionsunterschied zwischen an Luft oxydierten und säurepassiven Proben nicht etwa von der beim Säurepassivierungsprozeß eintretenden Mattierung (Aufrauhung) der Oberfläche herrührt, zeigt die an Armco-Eisen vorgenommene Versuchsreihe Fig. 3, Tafel III.

Die in Säure passivierte Probe besitzt nach Entfernung der Oxydschicht durch Ausglühen im Hochvakuum stets dieselbe Sekundäremission wie die ebenso ausgeglühte Luftpassivschicht, obwohl sie im Lichtmikroskop matter als diese erscheint. Zum Entfernen der Säurepassivschicht genügt schon eine 30 Sekunden lange Erhitzung auf ~700° C.

Auffallend ist in Fig. 2 und 3 die Erscheinung vieler besonders bei den säurepassivierten Proben *s* und auf der Nickelunterlage hervortretender schwarzer Flecken, die Stellen geringerer Sekundäremission anzeigen und etwa 0,1 mm bis mehrere Millimeter groß sind. Wie eine genauere Untersuchung ergab, rühren die meisten dieser Flecken von feinen, kaum sichtbaren Staubteilchen her, die sich bei höheren Elektronengeschwindigkeiten negativ aufladen und in einem relativ großen Bereich ihrer Umgebung die Feldstärke zwischen Objektplatte und Sekundäremissionsanode so weit herabsetzen, daß sich die Sekundärelektronen dort in Form einer Raumladungswolke ansammeln[11]). Die großen schwarzen Flecken auf Proben und Objektträger haben also mit der Struktur der Passivschichten nichts zu tun[12]).

Weitere Versuche sollen über das Wachstum von Oxydfilmen auf Aluminium und Kupfer durchgeführt werden.

Zusammenfassung

Bringt man reines, im Hochvakuum geglühtes Eisen kurze Zeit an Luft, so zeigt es im Elektronenabtaster eine Erhöhung seiner Sekundäremission; eine weitere, noch erheblichere Zunahme der Sekundäremission tritt ein, wenn das Eisen in konzentrierter Salpetersäure passiviert wird. Durch kurze Erhitzung im Hochvakuum wird die ursprüngliche Sekundäremission wiederhergestellt, also die Passivschicht entfernt. Die verschiedene Sekundäremission des reinen Metalls und der aufgewachsenen dünnen unsichtbaren Oxydhäute kann zum Studium der Dicke, des Wachstums und der Struktur korrosionshindernder Oberflächenschichten herangezogen werden.

Dank gebührt vor allem der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Ermöglichung der Arbeit, ferner Herrn Dr. H. Te Gude, Herrn Dipl.-Ing. E. Unverhau und insbesondere Herrn Dipl.-Ing. D. Hopf für die Durchführung zahlreicher Messungen.

10) Dies gilt selbstverständlich nur für das Sekundäremissionsbild des Elektronenabtasters, nicht aber für den (mit ruhendem Strahl gemessenen) Absolutwert des Sekundäremissionsfaktors, der bei den Proben bei 1 kV zwischen 1,6 und 1,7 lag. Infolge der Kontrastverstärkung durch das Abtastgerät sind Änderungen von einigen Prozent des Sekundäremissionsfaktors als Helligkeitsunterschiede im Bild noch gut erkennbar. Die Erhöhung des Sekundäremissionsfaktors steht in Übereinstimmung mit Versuchen von R. Suhrmann und W. Kundt, wonach Sauerstoffschichten auf Kupfer, Silber und Gold bei Zimmertemperatur eine gewisse Erhöhung der Sekundäremissionsausbeute gegenüber dem reinen Metall hervorrufen (mündliche Mitteilung, vgl. Naturw. **27**, 548, 1939).

11) Vgl. M. Knoll, Naturw. 1941 (im Druck).

12) Anmerkung bei der Korrektur: Wie sich später herausstellte, treten die großen schwarzen Flecken bei vorherigem sorgfältigem Entstauben der Objekte mit einen Haarpinsel nicht auf.

Berlin, im April 1941.

(Eingegangen 6. April 1941.)

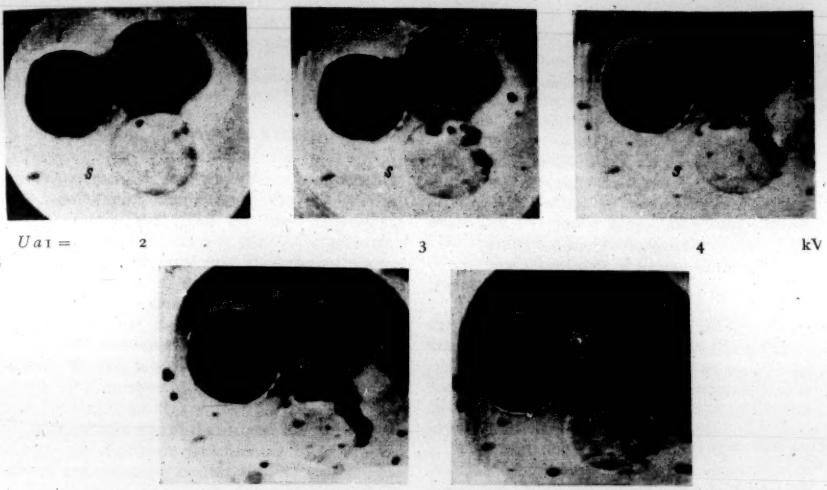


Fig. 2. Sekundäremissionsbild einer aktiven (*a*), an Luft oxydierten (*l*) und säurepassiven (*s*) Eisenoberfläche, erhalten mit verschiedener Elektronengeschwindigkeit $U a_1$ (Karbonyleisen). Schwarze Flecken auf *l* und *s*. Die auf den Proben ebenfalls erkennbaren weißen Punkte sind eingeschlagene Kennmarken.

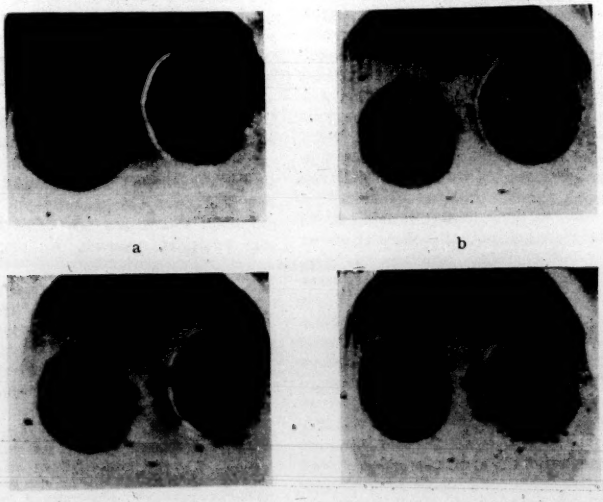


Fig. 3. Verschwinden der Säurepassivschicht durch Ausglühen (Armco-Eisen, $U a_1 = 4$ kV). a) Beide Proben mit feinstem Schmirgelpapier poliert und im Hochvakuum geglüht, rechte dann mit HNO_3 (~30 min) passiviert. Sekundäremission verschieden. b) Beide Proben im Hochvakuum geglüht (3mal 30 sec, ~900° C). Sekundäremission gleich. Die schwarzen Punkte sind Löcher zum Aufhängen der Proben. c) Rechte Probe wieder mit HNO_3 passiviert (~ 30 min). Sekundäremission verschieden. d) Beide Proben wieder im Hochvakuum geglüht (1mal 30 sec, ~ 700° C). Sekundäremission gleich.

Fadenentstehung, Fadeneigenschaften und molekulare Struktur

[Molekularphysikalische Betrachtungen über den Spinnprozeß[1])]

Von F. Horst Müller

Die verschiedenen Kunstfaserarten erscheinen vom chemischen Standpunkt aus gesehen sowohl ihrem Verhalten als ihrer Entstehung nach sehr unterschiedlich[2]). Die Untersuchungen gewisser mechanischer und thermischer Eigenschaften und die Aufnahme von Röntgendiagrammen bestärken diesen Eindruck. Man kann jedoch an das Problem der künstlichen Faser auch von einem Gesichtspunkt aus herantreten, der das Gemeinsame an diesen herausstellt. Dies entspricht der im folgenden gewählten Darstellungsart.

Eine Lösung ist dann gut verspinnbar, wenn sie Fadenmoleküle enthält[3]). Diese Erfahrungstatsache besitzt eine so weitgehende Allgemeingültigkeit, daß der Chemiker beim Suchen nach neuen synthetischen Fasermaterialien danach strebt, Reaktionen mit dem Ziele der Erzeugung von Kettenmolekülen zu finden; denn eben nur damit besteht die Aussicht, aus dem betreffenden Produkt Fasern herstellen zu können. Alle die Fälle, die dieses Prinzip zu widerlegen scheinen, sind ebenfalls darauf zurückführbar. So muß man z. B. die Spinnfähigkeit gewisser Lösungen von Baumwollgelb, Aluminiumseifen, Natriumstearat usw.[4]) auf Grund einer Aneinanderreihung ihrer Moleküle durch starke zwischenmolekulare Kräfte erklären. Selbst Fälle, wie die Fadenziehfähigkeit von Schwefel, geschmolzenem Quarz und von Gläsern lassen sich, wie wir später noch begründen werden, in gewisser Hinsicht einbeziehen.

Die Notwendigkeit des Vorhandenseins von Fadenmolekülen beim Spinnprozeß soll für die folgenden Überlegungen der Ausgangspunkt werden. Damit ergibt sich sofort ein Bild des Vorganges, das dem Auszupfen eines Wattebausches zu einem Faden ähnelt. Nur aus einem fasrigen Material und nicht aus einem körnigen oder blättchenartigen läßt sich ein Zwirn drehen. Beim Ausziehen oder beim Ausströmen der Spinnlösung aus der Düse treten Orientierungserscheinungen auf. Diese Orientierungen werden bei der weiteren Behandlung fixiert, gegebenenfalls, nachdem sie im halbfixierten Zustand durch eine neuerliche Verstreckung noch erhöht worden sind. Die Fixierung kann dabei – d. i. für die Physik des Fadens in erster Linie nicht so wesentlich – durch eine Abkühlung, durch Lösungsmittel- oder Quellungsmittelentzug oder durch eine chemische Fällung (Gerbung) erfolgen.

Zwei Prozesse spielen also bei der Entstehung der Faser eine maßgebende Rolle: die Erzeugung des Fadens in der Düse und dessen Fixierung.

Dieses Bild ist natürlich nicht neu[5]). Es kann nur heute infolge der besseren Kenntnis des Deformationsmechanismus ausführlicher diskutiert werden. Das soll im weiteren geschehen.

Voraussetzung für eine erfolgreiche weitere Analyse der Fadenentstehung, insbesondere in der ersten Phase, auf Grund dieses Bildes ist die Beherrschung derjenigen Ordnungsvorgänge, die in einem molekularen Filz bei bestimmten Deformationen stattfinden. Auch die Kenntnis der durch den Ordnungsvorgang verursachten Änderungen von Eigenschaften ist notwendig. Beide Vorgänge sind heute durch Untersuchungen, bei denen im wesentlichen Polystyrol als Modellsubstanz diente, geschaffen worden. Dabei hat sich gezeigt, daß viele Erscheinungen, die bei hochpolymeren Substanzen mit Kettenmolekülen auftreten, sich von einem gemeinsamen und außerordentlich allgemeinen Gesichtspunkt aus überblicken und verstehen lassen[6]).

Es mag ja zunächst gewagt erscheinen, aus einem Erfahrungsmaterial allgemeinere Schlüsse ziehen zu wollen, das hauptsächlich nur an einer Substanz gewonnen wurde, insbesondere dann, wenn diese Schlüsse von so allgemeiner Natur sein sollen, daß damit sämtliche Spinnprozesse erfaßt werden können. Tatsächlich ist dies auch zunächst eine weitgehende Extrapolation. Die weiteren Erfahrungen werden deren Berechtigung erweisen müssen. Immerhin gibt es einen wichtigen Grund, der für eine solche Extrapolation spricht: Es hat sich bei den Untersuchungen an Polystyrol gezeigt, daß nur gewisse Eigenschaften durch Ordnungszustände beeinflußt werden, und zwar diejenigen, die wesentlich durch die Existenz der molekularen

1) Als Vortrag gehalten anläßlich der ersten Forschungstagung des Zellwolle- und Kunstseidenringes G. m. b. H. in Schwarza.

2) Man denke nur an die verschiedene Art der Entstehung von Kupferseide, Xanthogenatseide, Kaseinfaser oder Fasern wie die *PeCe*-Faser und die Styroflexseide.

3) Geringfügige Anteile an verzweigten Molekülen sind zulässig. Eine Vernetzung dagegen in größerem Ausmaße wirkt störend.

4) Man vgl. hierzu die Versuche von H. Erbring, Koll.-Beih. **44**, 171, 1936.

5) Vgl. z. B. L. A. van Bergen und H. L. Bredée, Chem. Weekblad **30**, 55, 1933.

6) F. H. Müller, Wiss. Veröff. Siemens-Werke **19**, 110, 1940; Angew. Chem. **53**, 425, 1940; Koll.-Zeitschr. Mai- und Juni-Heft 1941.

Ketten bedingt sind. Die spezifischen Eigenheiten der monomeren Reste, d. h. der chemische Bau der Substanz, spielen dann nur eine sekundäre Rolle. Sie bestimmen Eigenschaften wie den Brechungsindex, die Dichte, den thermischen Erweichungspunkt usw., während die molekularen Ketten für die Änderung der Festigkeit und der Biegsamkeit sowie für das Auftreten von Doppelbrechung und Röntgenfaserdiagrammen verantwortlich gemacht werden müssen.

Voraussetzung der eben erwähnten Überlegungen war allerdings, daß es sich um molekulare Filze handelt, also um Strukturen, die keine Mizellen oder Kristallite enthalten. So wird man wiederum glauben, daß damit das im folgenden Gesagte gerade für die wichtigste Faser, die Zellulosefaser, nicht zutrifft. Neue Untersuchungen von Hermans[7]) aber legen nahe, daß die von Kratky angestellten Betrachtungen des Deformationsmechanismus[8]) in gewisser Hinsicht wesentlich zu eng sind und daß die frische Faser, mindestens aber die Spinnlösung ein Verhalten wie ein molekulares Netz[9]) zeigen wird. Beispielsweise konnte Hermans reversible Dehnungen an frischen Hydratzellulosefäden von einer Größenordnung nachweisen, die der an Kautschuk beobachteten gleichkommt. Im gelösten und im hochgequollenen Zustand wird man also die Spinnflüssigkeit weitgehend als molekularen Filz ansehen dürfen.

Molekulardisperse Lösungen werden durch stark solvatisierende Wirkung der Lösungsmittel oder durch chemische Einflüsse erreicht. Die zur Mizellbildung führenden, unter Umständen sehr starken zwischenmolekularen Kräfte, z. B. der Zellulose oder der Proteine, werden bei diesen Lösungsprozessen so weit herabgesetzt, daß die molekulare Beweglichkeit der einzelnen Ketten zur Wirkung gelangt. Allerdings muß man zuweilen zu chemischen Umformungen (Zellulosen) und zu Ionenlösungsmitteln (Kaseine) schreiten, um den molekulardispersen bzw. einen diesen Zustand ähnlichen Lösungszustand zu erzwingen.

Hier werden physikalische Betrachtungen über den Vorgang der Reife von Spinnlösungen anknüpfen müssen. Physikalisch wird dieser Vorgang mit der Herstellung des geeigneten molekularen Lösungszustandes zusammenhängen. Die zunächst noch Mizellen enthaltende Flüssigkeit wird langsam zum idealen, keine Mizellen mehr enthaltenden molekularen Filz. Zu lange Reifezeiten führen dagegen wahrscheinlich zu Kettenabbau und sind deshalb ungünstig. Bei zu kurzen Reifezeiten aber ist umgekehrt noch keine genügende Homogenisierung der Lösung eingetreten[10]). In der Praxis muß man sich also mit einem Mittelzustand der für die Verspinnung am günstigsten ist, begnügen[11]).

Bei Substanzen, wie Polystyrol oder Polyvinylchlorid, sind die Bedingungen des molekularen Filzes von vornherein erfüllt, selbst im kompakten Zustand. Will man das ungelöste Material verspinnen, so ist nur notwendig die Verformbarkeit, d. h. die Beweglichkeit der Ketten gegeneinander durch Erwärmung herzustellen. Im Fall von Quarz und Glas kann man sich Ketten aus SiO_2- oder SiO_4-Gruppen gebildet denken, die das molekulare Netz darstellen. Die SiO_4-Ketten sind allerdings elektrisch geladen und müssen durch positive Metallionen neutralisiert werden. Die starken ionalen Kräfte sind zugleich der Grund, daß das Glas z. B. gegenüber dem Polystyrol mit seinen nur van der Waalsschen Wechselwirkungen einen so viel höheren Erweichungspunkt zeigt.

Nimmt man für die Spinnlösungen die Bedingungen des molekularen Filzes als gegeben an, so ist auch der Orientierungsmechanismus für alle Faserarten am Anfang ihrer Entstehung weitgehend als identisch zu betrachten. Die Art der Lagerung der Moleküle bis zur Fixierung des Fadens ist eine Funktion der an der Düse stattfindenden Deformation dieses Filzes bzw. der bis zur Fixierung möglichen Desorientierung durch Relaxation. Kennen wir diese Vorgänge aus anderen Versuchen näher, so dürfen wir Analogieschlüsse ziehen[12]).

---

7) P. H. Hermans, Nederl. Acad. Wetensch. Proc. **43**, 3, 1940.

8) O. Kratky, Koll. Zeitschr. **84**, 149, 1938 (daselbst weitere Literatur).

9) Unter einem molekularen Filz oder Netz wollen wir einen Zustand verstehen, bei dem die einzelnen Fadenmolekülketten miteinander verfilzt sind, jedoch keine Ordnung in größeren Bereichen aufweisen, die den Annahmen einer Mizell- oder Kristallitbildung entsprechen. Eine nähere Definition findet sich in der erwähnten Arbeit in der Koll. Zeitschr., Anm. 6).

10) Es besteht allerdings, das muß hier der Vollständigkeit halber erwähnt werden, bei verschiedenen Forschern die Meinung, daß in einer guten Zellulosespinnlösung ein Teil der Substanz noch im mizellaren Zustand vorliegen muß.

11) Bei der Herstellung von Polystyrollösungen, beispielsweise in Benzol, muß man ebenfalls einige Zeit, meist einige Tage warten, bis eine Homogenisierung eingetreten ist. Die Moleküle brauchen Zeit, um sich nach dem Quellen aus den vorher vorhandenen Verband in einzelnen Körnern zu entwirren und sich gleichmäßig untereinander zu verfilzen.

12) Inwieweit die Bildung von Mizellen und Kristalliten bei der Fixierung den zweiten Teil des Vorganges beeinflußt, wird weiter unten betrachtet.

Molekulare Netze und Filze lassen sich in ihrem Deformationsverhalten nur diskutieren, wenn man sich auf den Kuhnschen Standpunkt der Molekülknäuelung stellt[13]). Es kommt dabei nicht darauf an, daß man gerade den von Kuhn errechneten Knäuelungsgrad als vorhanden annimmt. Die Knäuelung kann wesentlich lockerer sein[14]). Losere Knäuel werden von Kuhn ja auch nicht abgelehnt. Ablehnen muß man

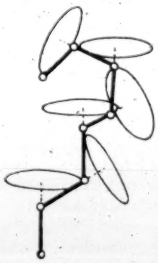


Fig. 1. Beispiel eines Kettenstückes mit frei drehbaren Valenzen (räumlich zu denken).

dagegen jegliche Annahme über relativ starre fadenförmige Moleküle[15]). Fadenmoleküle enthalten in der Kette stets drehbare Valenzen (Fig. 1). Etwaige sterische und potentielle Behinderungen sind fast immer klein gegen die mittlere thermische Energie. Infolgedessen sind die Drehungen um diese Valenzen auch angeregt, da es bei Molekülen den Begriff einer Reibung – etwa im Sinne einer Reibung in der Drehachse bei einem Modell – nicht gibt. Also kann die Gestalt eines Fadenmoleküls nur statistisch bestimmt sein. Starre Moleküle mit drehbaren Valenzen können nicht bestehen[16]).

Eine wesentliche, etwa zur stäbchenartigen Starrheit führende Versteifung durch Solvatationshüllen kommt infolge des statistischen Charakters einer solchen Schicht – man kann sie mit der Oberfläche einer Flüssigkeit vergleichen[17]) – ebenfalls nicht in Frage. Nur wenn Mizell- oder Kristallitbildung einsetzt, ist mit Teilchen von größerer Starrheit zu rechnen. Dies hatten wir jedoch für den ersten Teil der Fadenentstehung von den Betrachtungen ausgeschlossen.

Die Ordnung in einem Filz oder Netz aus Kettenmolekülen läßt sich für den vorliegenden Zweck passender als mit den Kuhnschen Überlegungen für die Gesamtgestalt der Makromoleküle in einer anderen Weise formulieren. Wir nehmen dazu eine Funktion f zu Hilfe, die die Verteilung der einzelnen monomeren Reste in ihrer räumlichen Orientierung beschreibt[5]). Jedem monomeren Rest sei eine Richtung zugeordnet (Beispiel: Polystyrolrest, Fig. 2). Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein solcher Rest in das Raumwinkelelement $d\Omega$ zeigt, ist durch $f d\Omega$ gegeben. Sind alle Richtungen gleich wahrscheinlich, wird f eine Konstante ($= f_0$). (f ist

Fig. 2. Zuordnung von Richtung und Styrolrest.

bekanntlich eine Funktion auf einer Kugel.) Bei einer Streckung z. B. entsteht ein mittlerer Ordnungszustand der Kettenglieder, der monomeren Reste, der sich in erster Näherung durch eine Reihenentwicklung nach Kugelfunktionen beschreiben läßt (Beispiel Fig. 3).

Kennt man f, so lassen sich eine Reihe von Eigenschaften, nämlich alle, die durch die Orientierung betroffen werden, als Funktion der Ordnung berechnen. Vor allem die Doppelbrechung läßt sich in ihrem Zusammenhang mit der Konstitution, z. B. mit den optischen Anisotropien

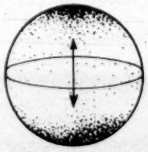


Fig. 3. Verteilungsfunktion f der Richtungen der monomeren Reste für ein gedehntes Stück molekularen Filzes.

des monomeren Restes verknüpfen. Ebenso kann man die Sicheldiagramme bei Röntgenuntersuchungen, die Anisotropie der Zerreißfestigkeit und anderes darstellen. Schließlich sind mit diesen Ordnungszuständen hochelastische Spannungen verbunden, wenigstens im geeigneten Temperaturbereich, über die auf diesem Wege neue Aussagen möglich wurden. Beispielsweise müssen hochelastische Spannung und

13) W. Kuhn, Koll. Zeitschr. **68**, 1, 1934; Angew. Chem. **49**, 858, 1936.

14) Vgl. hierzu K. H. Meyer und H. Mark, Hochpolymere Chemie. Bd. 2, Leipzig 1940, S. 570.

15) H. Staudinger, Die hochmolekularen organischen Verbindungen, Berlin 1932.

16) H. Mark, in: „Der feste Körper". Tagungsvorträge Zürich, herausgegeben von R. Sänger, Leipzig 1938, insbesondere S. 80.

17) In einer Flüssigkeitsoberfläche ist trotz ihrer offenbar sehr guten Definition jedes Molekül nur Bruchteile einer Millisekunde vorhanden. Es herrscht also eine sehr große Fluktuation.

Doppelbrechung auf gleiche Art von f abhängen, d. h. die zweifache Doppelbrechung entspricht der zweifachen elastischen Spannung.

Um jedoch weiterzukommen, ist vor allem ein Zusammenhang von f mit der Verformung – etwa mit der relativen Verlängerung $\Delta l/l$ oder dem Dehnungsgrad v – notwendig. Das zwingt zu Überlegungen über die Möglichkeiten der Netz- oder Filzdeformation. Diese Überlegungen sollen hier jedoch nicht nochmals im einzelnen durchgeführt werden, obgleich erst durch sie ein wirklich anschauliches Bild der stattfindenden Änderungen vermittelt wird[5]). Wir wollen hier nur das Prinzipielle an dem Vorgang wiederholen.

Schon Kratky[8]) und Hermans[18]) haben versucht, sich ein solches Bild über Orientierungsprozesse zu bilden. Nur gingen sie bei ihren Überlegungen von den mizellaren Strukturen aus. Kratky hat dabei zwei Fälle unterschieden, den der frei schwebenden und den der verhängten Mizellen. Im zweiten Falle mußte er, um der Bedingung der Raumerfüllung gerecht zu werden, eine Parallelordnung der Ketten im kleinen Bereich annehmen. Sein Bild gestattet keine größeren Dehnungsgrade als $\pi/2$ zu 1.

Derartige Beschränkungen widersprechen den Erfahrungen an molekularen Netzen und Filzen. Auch gibt es dort keine Raumerfüllungsschwierigkeiten. Die Kratkyschen Überlegungen sind also für den vorliegenden Fall viel zu speziell. Mindestens die über verhängte Strukturen sind zu eng gegriffen. Der zweite Fall, der der frei schwebenden Strukturen, ist wiederum zu unbestimmt, denn für ihn gibt es ja überhaupt keine endliche Dehnungsgrenze. Eine solche muß man jedoch bei Netzen in Abhängigkeit von ihrer Maschengröße erwarten. Filze und Lösungen können zwar prinzipiell durch Abgleiten beliebig gedehnt werden. Der Deformationsmechanismus dieser Strukturen muß sich jedoch aus Stetigkeitsgründen an den der Netze anschließen, wird also ebenfalls etwas anders als dieser zweite Kratkysche Typ sein.

Unter Zuhilfenahme allgemeiner statistischer Überlegungen gelang es, eine genügend weite und physikalisch gut fundierte Bedingung für die Richtungsverteilung der monomeren Reste in den einzelnen Maschen des Netzes bzw. Filzes anzugeben, die zu einer Berechnung von f als Funktion von $\Delta l/l$ und der mittleren freien Kettenlänge z führt[5]). In die Überlegungen geht also nicht die Gesamtlänge des Moleküls, sondern die der Teilstücke z ein, deren Größe durch die Intensität der Verhakung bestimmt ist.

Die erwähnte physikalische Bedingung beruht darauf, daß stets die wahrscheinlichsten Zustände in der Natur verwirklicht werden. Sie hat damit gleichzeitig den zweiten Hauptsatz der Wärmelehre zur Grundlage und führt somit zwangsläufig auch zur Erfüllung der bekannten thermodynamischen Effekte der Hochelastizität.

Hier sei nur das Resultat angegeben. Für f gilt in erster Näherung

$$f = f_0\left(1 + \left[\frac{c}{\sqrt{z}}\frac{\Delta l}{l} + \frac{\varepsilon}{z}\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2\right]P_2 + \cdots\right)$$

mit $\varepsilon \ll c$.

Die Größen P_2 usw. sind Kugelfunktionen, z. B. $P_2 = \frac{1}{2}\cdot(\cos^2\vartheta - 1)$, z ist die Anzahl der monomeren Reste, die eine Masche oder ein Stück „freie" Kette bilden.

Anschaulich bedeutet dieses folgendes: Ein molekularer Filz verhält sich ähnlich einem Wattebausch, dessen Fäden beim Ausziehen im Mittel orientiert werden, jedoch so, daß die den Fäden innewohnende zugehörige Wärmebewegung diese Orientierung dauernd zunichte zu machen bestrebt ist. Der tatsächliche Orientierungszustand ist also ein statistisches Gleichgewicht zwischen orientierender Tendenz und Temperaturbewegung. Wir können auch sagen, im orientierten Netz oder Filz erzeugt die Wärmebewegung einen inneren Zug, der bei Fortfall der äußeren verformenden Kraft den ungeordneten Zustand wiederherstellen würde (Beispiel: Kautschuk). In manchen Fällen, etwa beim Polystyrol, lassen sich die so erreichten Ordnungszustände einfach durch Abkühlung einfrieren. Schon die Fixierung durch Lösungsmittelentzug ist jedoch komplizierter und erst recht diejenige durch chemische Fällung (siehe weiter unten).

Die obige Formel, die die erreichten Ordnungszustände mit Hilfe der Funktion f zu erfassen gestattet, gilt streng eigentlich nur für Netze, d. h. für Strukturen, bei denen ein Abgleiten der fadenförmigen Moleküle voneinander nicht möglich ist. Spinnlösungen sind nur verfilzte Strukturen. Sie zeigen mechanische Relaxation. Für diese Systeme lassen sich ganz analoge Betrachtungen durchführen, sie werden nur etwas komplizierter. Die Zahl z wird eine Funktion der Temperatur, der Konzentration, der relativen Dehnung und sogar der Verformungsgeschwindigkeit. Immerhin ist die mathematische Fassung mit Hilfe der Formulierung durch f noch möglich, während die Kuhnschen Betrachtungen über die Gestaltsisomerie der Moleküle dies kaum oder nur unübersichtlicher gestatten würden. Aus diesem Grunde wurde hier die Dar-

18) P. H. Hermans, Koll. Zeitschr. **81**, 143, 1937.

stellung mittels f den Kuhnschen Rechnungen vorgezogen.

Man muß also auch die Relaxationszeiten für die Entschlaufung der Molekülfäden kennen. Die hier skizzierten Überlegungen gestatten dann leicht eine widerspruchsfreie Deutung der Strukturviskosität und der Signerschen Messungen[19]) über die Strömungsdoppelbrechung an hochmolekularen Lösungen. So darf man vermuten, daß sich ihre Anwendung auf den Spinnprozeß ebenfalls bewähren wird. Wir wollen nunmehr im folgenden die Art der Ordnung in ihrer Abhängigkeit von den verschiedensten Parametern erschließen, die in den Fäden beim Spinnvorgang entsteht, und wir wollen die Auswirkung dieser Ordnung auf die Eigenschaften der Fäden kurz diskutieren.

Beim Auspressen aus der Düse wird der Filz der molekularen Ketten, als den wir die Spinnlösung ansehen, in bestimmter Weise deformiert. Es erfolgt durch die Scherungskräfte beim Fließen eine Orientierung[20]). Das mehr oder weniger schnelle Abziehen von der Düse hat einen weiteren Einfluß auf diese Ordnung. So ist kurz hinter der Düse die im Faden vorhandene Ordnung erstens durch die Düsenform und zweitens durch die Verstreckung beim Abziehen bestimmt.

Nach diesem Bild sollte man besondere Düsenformen finden können, die die Richtungseffekte in günstigster Weise erzeugen. Für die Konstruktion einer solchen Düse gelten aber keineswegs die Gesetze der gewöhnlichen Hydrodynamik; denn die Spinnlösungen stellen ein quasifließendes Material dar[21]).

Da Spinnlösungen nur verfilzte Strukturen sind, so zeigen die Ordnungen eine starke Relaxation. Durch Abgleiten und Entwirren der molekularen Ketten würde jede Orientierung rasch wieder zerstört sein, wenn sie nicht durch Weiterverformung aufrechterhalten oder durch Fixierung stabilisiert wird. Im allgemeinen ist die mechanische Relaxation sehr stark – die Verhakung des molekularen Filzes sehr lose –, so daß die Fixierung schnell erfolgen muß, und zwar bis zur Fadenmitte hindurch. An Styroflexfäden konnte gezeigt werden, daß, verursacht durch die schlechte Wärmeableitung, die inneren Teile beim Einfrieren noch etwas Zeit haben, ihre molekulare Ordnung zu vermindern, bevor auch sie festgelegt werden (Fig. 4). Diese Schwierigkeit einer schnellen Durchfixierung ist prinzipieller Natur[22]), da die Fixierung stets von der Oberfläche des Fadens aus erfolgen muß und die verfestigte Hülle das Innere vor weiteren Einwirkungen gleichsam schützt, sei es durch die Tatsache, daß die Fällreagentien nur noch mit verminderter Geschwindigkeit zu den inneren Teilen hindiffundieren können (Gerbwirkung) oder auf andere Weise. Eine damit eng zusammenhängende Frage ist die nach der Zweckmäßigkeit einer raschen oder langsamen Fällung

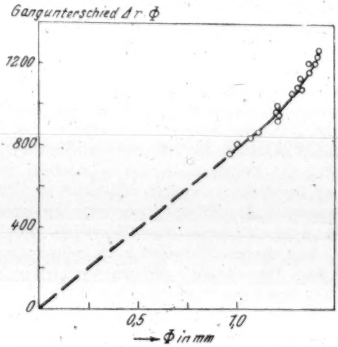


Fig. 4. Optischer Gangunterschied eines gereckten Polystyrolfadens, der nach und nach abgeschliffen wurde, aufgetragen gegen den Durchmesser. Die Krümmung zeigt, daß die äußeren Randschichten eine etwas bessere Orientierung als die inneren Teile besitzen.

im Hinblick auf die Eigenschaften des entstehenden Fadens. Beide Methoden werden Vorteile und Nachteile haben. Die langsame Fällung ist sicher günstiger in bezug auf die späteren mechanischen Eigenschaften – es entsteht eine geringere Zahl von Fehlbaustellen, da die Kettenteile mehr Zeit zur günstigen Lagerung haben –, verlangt aber eine geringere Relaxation der Spinnlösung als die scharfe Fällung. Geringere Relaxation der Lösung wird wiederum durch höhere Konzentrationen oder vor allem durch ein höheres mittleres Molekulargewicht erzielt. Beidem ist durch die damit verbundene erhöhte Viskosität und den ebenfalls erhöhten Düsendruck eine Grenze gesetzt. Zudem erfordert die Erhaltung eines hohen Polymerisationsgrades bei den chemischen Umwandlungsprozessen bei Herstellung z. B. des Zellstoffes und der Spinnlösung einen besonderen Aufwand. Im übrigen bringt eine beliebige Steigerung des Molekulargewichtes schließlich keine weitere Vergütung

19) R. Signer, Trans. Far. Soc. **32**, 296, 1936; Zeitschr. physik. Chem. (A) **150**, 257, 1930; **165**, 161, 1933.

20) Leicht nachweisbar durch Doppelbrechung. Vgl. H. Erbring, Koll. Zeitschr. **82**, 132, 1938.

21) Vgl. R. Houwink, Elastizität, Plastizität und Struktur der Materie. Dresden und Leipzig 1938.

22) Man vgl. hierzu die Vorstellungen, die L. A. van Bergen und H. L. Bredée, Chem. Weekblad **30**, 55, 1933, für Kunstseide entwickelt haben.

mehr; denn – wie wir bei der Formulierung der Funktion f gesehen haben – kommt es für die Orientierung eines Filzes aus sehr langen Kettenmolekülen nicht mehr auf den Gesamtpolymerisationsgrad, sondern nur auf die Länge der freien Teilkettenstücke an[23]).

Der Vorgang der Fixierung läuft aber im allgemeinen nicht so einfach wie beim Polystyrol, bei dem der statistisch geordnete Zustand einfach einfriert oder beim Spinnen aus einer Lösung gleichsam eintrocknet[24]). Bei der Regeneration der Zellulose z. B. werden die Nebenvalenzen der Fadenmoleküle wieder frei und betätigen sich, indem sie Mizellen aufbauen. Wir müssen uns diesen Vorgang so denken, als ob nach der Fällung spezifisch wirkende Assoziationskräfte besondere Zusammenlagerungen bevorzugt herstellen können. Es treten an Orten, an denen zunächst die mittlere statistische Anordnung der Ketten es gerade begünstigt, eine weitere Parallelisierung und schließlich ein Einschnappen in das Kristallgitter ein. Der ganze Faden wird mit kristallinen Bereichen durchsetzt. Von diesem Augenblick an gelten dann außerdem für etwaige weitere Verformungen die Kratkyschen Vorstellungen. Eine Nachverstreckung z. B. verläuft also wesentlich zunächst nach dem Bilde der frei schwebenden und bei fortschreitender Ausfällung sogar nach dem der verhängten Mizellen. Dieser zweite nach begonnener Fixierung stattfindende Ordnungsvorgang scheint für Zellulose und Kaseinfasern für die Eigenschaften des Endproduktes eine wesentlich ausschlaggebendere Bedeutung zu haben als die während des eigentlichen Spinnens stattfindende Vororientierung. Der Verlauf der Aggregation im Faden während des Regenerationsvorganges und die Prozesse der Nachverstreckung kann man heute noch durchaus nicht als befriedigend geklärt ansehen. Es ist jedoch verständlich, daß schon geringfügige Änderungen im Spinnprozeß, also etwa eine Variation der Fällungsgeschwindigkeit oder eine Änderung der Verstreckungsart (ungefällt, im schwach oder im stark gefällten Zustand) die Eigenschaften des Endproduktes wesentlich beeinflussen muß. Wird z. B. unmittelbar hinter der Düse rasch regeneriert, so werden die Kristallite von vornherein besser orientiert liegen, als wenn man der Lösung erst Zeit zur Relaxation läßt. Andererseits bewirkt eine schnelle Fällung eine weitgehende Versteifung der Struktur, so daß die Nachverstreckung nur unter mechanischen Verletzungen und Zerstörungen an der Feinstruktur möglich ist. Eine langsame Regeneration, verbunden mit langsamer Verstreckung gibt den Aggregationen und den dazwischenliegenden amorphen Bereichen Zeit, die günstigste Lagerung ohne mechanische Risse und Zerstörungen einzunehmen. Man hat übrigens tatsächlich festgestellt, daß starke Verformungsvorgänge in Fasern mit viel Mizellen zu ungünstigen mechanischen Eigenschaften führen, besonders wurden an schon entquollen gewesenen und später nachträglich verstreckten Fasern sehr schlechte mechanische Werte beobachtet[7]). Diese beruhen eben darauf, daß häufig sog. Fehlbaustellen durch die Anwesenheit der sperrigen Mizellen, die der schnellen Deformation nicht mehr durch Verlagerung nachgeben konnten, entstanden sind.

Beim Polystyrol oder Polyvinylchlorid dagegen erfolgt eine spätere Verstreckung, sofern die Plastizität des Fadens sie zuläßt, ganz nach den gleichen Gesetzen wie das Spinnen in den Düsen selbst. Nur die Werte z der freien Teilstrecken sind andere.

Mit der Art der Ausfällung und der Orientierung eng gekoppelt ist eine andere, neuerdings sehr aktuelle Frage, die der Raumerfüllung künstlicher Fasern[25]). Es scheint auch dies eine Angelegenheit der Bildung eines Mizellgerüstes zu sein. Entsteht ein relativ ungeordnetes Gerüst, so ist damit eine sperrige Struktur der zukünftigen Faser vorgegeben, die unter Umständen auch mehr Hohlräume besitzen wird. Gelingt es dagegen, die Fällung so zu führen, daß mit Hilfe des vorgegebenen Ordnungszustandes in der Spinnlösung die Mizellen bei der Regeneration weitgehend parallel entstehen, so wird die räumliche Lagerung kompakter, der Faden dichter werden. Die mechanischen Eigenschaften sind günstiger[26]).

So zeigt sich, daß Einblicke und Vorstellungen über die Entstehung der Fasern im engsten Zusammenhange mit dem molekularen Mechanismus einerseits und mit den späteren Eigenschaften andererseits stehen müssen. Offenbar kommt es aber nicht allein darauf an, eine hohe Orientierung der Moleküle in den Fasern zu erreichen, sondern diese Orientierung auf einem ganz bestimmten Wege zu erhalten. So sind für die Fäden nicht immer hohe Doppelbrechungswerte mit größter Zugfestigkeit gekoppelt. Will man schließlich

23) Immerhin haben Versuche gezeigt, daß die Anwesenheit von einigen wenigen extrem langen Ketten die Spinnbarkeit einer Lösung erheblich erhöhen kann. Man wird also bei weiteren Untersuchungen nicht nur den mittleren Polymerisationsgrad, sondern auch der polymer-homologen Verteilung besondere Beachtung schenken müssen.

24) Dabei verbessert sich die Ordnung noch.

25) H. Ruska und M. Kretzschmar, Koll. Zeitschr. **92**, 163, 1940; **93**, 267, 1940).

26) Das heißt, die Zerreißfestigkeit ist größer, die Dehnbarkeit jedoch geringer.

molekulare Betrachtungen auch für solche Größen wie etwa für die Knotenfestigkeit einer Faser durchführen, so wird die Sachlage noch weit komplizierter. Immerhin bestehen auch hierfür schon, wenngleich noch nicht quantitative, so doch qualitative Ansätze, wenigstens insoweit, als es sich um die Biegsamkeit von Folien und Fäden mit verschiedenem Ordnungszustand handelt[27]).

Zum Schluß seien noch einige Worte über das Verhältnis zu den Naturfasern angefügt. Die Kunstfaser ist der Naturfaser nicht in bezug auf den chemischen Aufbau unterlegen. Man kann Fasern von praktisch gleichem Material oder schließlich sogar von günstigerem – vor allem im Hinblick auf bestimmte Zwecke – herstellen[28]). Nur hat die Natur den Vorteil, daß sie ihre Produkte langsam wachsen läßt. So kann sich sorgfältig geordnet Baustein an Baustein legen und es kann für die Festigkeit und Biegsamkeit die günstigste Aufeinanderlagerung erfolgen. Man denke nur an die gegenläufige spiralige Struktur von Zellulosefasern[29]). Eine derartig gute und systematische Ordnung wird man bei Kunstfasern nie erreichen; denn wir müssen die Fasern in einem nur statistisch beherrschbaren, ungeheuer rasch verlaufenden Prozeß herstellen. Trotz dieser Schwierigkeit wird man – falls man die Kenntnis der eine maßgebende Rolle spielenden Ordnungsvorgänge beherrscht, auf diesem Weg ebenfalls Fäden mit guten Eigenschaften herstellen können (man vgl. die Spinne und die Seidenraupe). Die Wege zu den notwendigen Erkenntnissen führen weiterhin über Modellversuche einerseits an Lösungen aus Polystyrol u. dgl., andererseits über Spinnversuche von dickeren Fäden und von Bändern, um die Ausfällungsbedingungen, d. h. den skizzierten zweiten Teil des Vorganges genauer zu erforschen. Die Versuche müssen aber Rücksicht auf den zeitlichen Verlauf des Spinnprozesses nehmen. Sie dürfen nicht, wie meist bisher, von statischer Art sein.

27) F. H. Müller, vgl. hierzu auch R. Houwink, Anm. 21.

28) Zum Beispiel ist die *PeCe*-Faser eine nichtfaulende wasserbeständige Faser, die Nylonfaser von besonders großer Festigkeit.

29) Siehe z. B. A. Frey-Wyssling, Submikroskopische Morphologie des Protoplasmas und seiner Derivate. Berlin 1938.

Leipzig, Physikalisches Institut der Universität.

(Eingegangen 10. Mai 1941)

Beitrag zur Frage der Sekundäremission aufgedampfter Erdalkalimetallschichten[1])

Von P. Görlich

Mitteilung aus dem Laboratorium der Zeiß-Ikon-AG.

I. Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen an Erdalkaliaufdampfschichten

Die ersten Versuche mit Erdalkaliaufdampfschichten stammen unseres Wissens von Copeland[2]). Copeland fand, daß *Ca*-Aufdampfschichten auf *Au*-Unterlagen mit wachsender Schichtdicke des *Ca* einen steigenden SEK (δ) zeigen, und zwar konnte er für δ Werte bis zu 5 erreichen $\left(\delta = \frac{S}{P},\ S = \text{Zahl der Sekundärelektronen},\ P = \text{Zahl der Primärelektronen}\right)$. Ebenso wie *Ca* auf *Au* verhielt sich *Li* auf *Ta*. Diesem Befund stehen die Ergebnisse von Chlebnikov[3]) entgegen, der bei *Be* auf entgastem *Ta* feststellte, daß der SEK mit zunehmender Schichtdicke des *Be* abnimmt. Auffällig ist, daß Chlebnikov im günstigsten Falle für δ nur $\sim 1{,}4$ erhielt. Bei größeren Schichtdicken des *Be* fiel δ auf 0,55 ab. Ähnliche Werte erhielt Kollath[4]) für *Be* auf *Be* ($\delta \simeq 0{,}6$) und *Be* auf *Mo* ($\delta \simeq 0{,}7$), wobei zu beachten ist, daß die Unterlagemetalle nicht entgast waren. Man kann aus den Messungen von Copeland und Kollath schließen, daß ein Einfluß der Unterlage vorhanden ist. Copeland (l. c.) glaubt, aus seinen Messungen folgern zu können, daß die Größe der SE bei kleinen Geschwindigkeiten der Primärelektronen im wesentlichen durch die aufgedampfte obere Schicht, hingegen bei hohen Primärgeschwindigkeiten durch die Unterlage bestimmt wird. Einen Einfluß der Unterlage auf die SE beschreiben auch Warnecke und Lortie[5]), die *Be*-Aufdampfschichten auf *Ag*, *Ni*, *Cu*, *Ta* und *Mo* untersuchten. Sie bemerken, daß die *Be*-Schichten stärker waren, als der Eindringtiefe der Primärelektronen entsprach, und wollen damit offenbar im Gegensatz zu Copeland zum Ausdruck bringen, daß auch dann, wenn die Primärelektronen infolge ihrer Geschwindigkeit nicht bis zur Unterlage vor-

1) Inhalt des für die Internationale Physikertagung im September 1939 in Zürich angemeldeten Vortrages.

2) P. L. Copeland, Phys. Rev. **46**, 167, 1934; **48**, 96, 1935.

3) N. Chlebnikov, Techn. Phys. (russ.) **5**, 593, 1938; vgl. auch E. G. Schneider, Phys. Rev. **54**, 185, 1938.

4) R. Kollath, Ann. d. Phys. **33**, 285, 1938.

5) R. Warnecke und M. Lortie, C. R. **208**, 429, 1939.

dringen, die Unterlage den Emissionsvorgang in der Aufdampfschicht beeinflußt. Die SE war von der Temperatur (zwischen 200° und 600° C), die die Unterlage während des Aufdampfens des *Be* hatte, unabhängig. Für Cs_2O-Kathoden wurde ebenfalls die Abhängigkeit der SE von der Unterlage gefunden[6]).

An Alkaliaufdampfschichten konnte festgestellt werden, daß der SEK mit der Schichtdicke der Alkalischicht parallel zum äußeren lichtelektrischen Effekt über ein Maximum läuft[7]). Für die Erdalkaliaufdampfschichten fanden Treloar[8]) bei *Ba* auf *W* und Bruining und de Boer[9]) bei *Ba* auf *Ni* den gleichen Verlauf. Diese Befunde stimmen mit denen von Copeland und Chlebnikov an Erdalkaliaufdampfschichten nicht überein. Es schien uns daher zweckmäßig, nachzuprüfen, welche Kurve wir für die Abhängigkeit des SEK von der Dicke der Erdalkaliaufdampfschicht erhalten.

Auf den Einfluß, den die Struktur der SE-Schicht auf die SE ausübt, ist für einige Metalle von verschiedenen Seiten[10]) hingewiesen worden. Für den uns hier interessierenden Fall der Erdalkaliaufdampfschichten zeigten Kollath (l. c.), Warnecke und Lortie (l. c.) sowie Schneider (l. c.), daß bei Temperaturerhöhung Änderungen von δ auftreten. Allerdings stimmen die Beobachtungen untereinander nicht überein. Kollath[11]) kommt nach eingehenden Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß bei *Be*-Aufdampfschichten zur Erreichung der größten Ausbeuten Vorgänge in der Schicht notwendig sind, die mit der Anordnung der Atome zusammenhängen, z. B. Kristallisationserscheinungen.

Der Einfluß chemisch aktiver Gase, z. B. von Sauerstoff oder Wasserstoff, macht sich im allgemeinen durch eine Steigerung von δ bemerkbar. Schon Campbell[12]) konnte für die Metalle *Pt* und *Cu* eine Abnahme der SE bei Entgasung derselben feststellen. An dieser Stelle sind vor allem auch die neueren Untersuchungen von Schnitger[13]) zu nennen. Schnitger weist den günstigen Einfluß des Sauerstoffs auf die SE der *Mg*-Aufdampfschichten nach. Daß ein Einfluß der Unterlage nicht zu erkennen war, ist bei der von Schnitger verwendeten Schichtdicke verständlich. Messungen über die Einwirkung von Edelgasen sind unseres Wissens bei Aufdampfschichten nur von Chlebnikov (l. c.) vorgenommen worden. Chlebnikov setzte eine *Be*-Aufdampfschicht auf *Ta* einer *He*-Atmosphäre aus. Eine Änderung von δ wurde nicht beobachtet. Bei einem chemisch inaktiven Gas war ein solcher Befund auch zu erwarten.

II. Meßergebnisse[14]) und ihre Deutung

Mit der üblichen Anordnung zur Bestimmung von δ erhielten wir im Gegensatz zu Chlebnikov andere Ergebnisse. Zunächst konnte nachgewiesen werden[15]), daß die SE bei einer *Be*-Aufdampfschicht auf *Ag* durch eine Hochfrequenzglimmentladung (HGE) in *Ar* stark ansteigt (vgl. Fig. 1). δ wächst bei einer

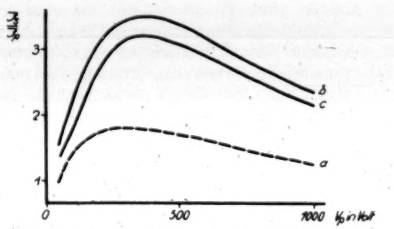


Fig. 1. *Be* auf *Ag*. a) *Be* auf *Ag*; b) 1 Stunde Glimmentladung in *Ar*; c) 2 Stunden Elektronenbombardement, $i \approx 3 \cdot 10^{-5}$ Amp.

behandelten Schicht beispielsweise nach einer einstündigen Glimmentladung in *Ar* von 1,82 auf 3,55. Dieses Ergebnis ist reproduzierbar. Die sensibilisierte Schicht zeigt verhältnismäßig stabile Eigenschaften, denn nach einem Elektronenbombardement von 2 Stunden bei einem Elektronenstrom von $3 \cdot 10^{-5}$ Amp. ist δ nur auf 3,20 abgesunken. Eine andere Schicht zeigt (vgl. Fig. 2) nach einer einstündigen *Ar*-Glimmentladung $\delta = 2{,}97$ und nach 18stündigem Elektronenbombardement ($i = 3 \cdot 10^{-5}$ Amp.) sogar einen Anstieg auf 3,38. Eine so große Steigerung von δ konnte in einer O_2-Glimmentladung bisher nicht erzielt werden. Fig. 3 zeigt z. B. bei einer *Be*-Aufdampfschicht auf *Ag* $\delta = 1{,}83$ und nach einstündiger Glimmentladung in O_2 $\delta = 2{,}09$. Dabei ist außerdem das Maximum der Kurve nach größerem V_p verschoben, woraus geschlossen werden kann, daß

6) G. Weiß, Fernsehen und Tonfilm, S. 41, 1936.
7) A. Afanasjeva und P. Timofeev, Techn. Phys. (russ.) **4**, 953, 1937.
8) R. G. Treloar, Proc. Phys. Soc. **49**, 392, 1937.
9) H. Bruining und J. H. de Boer, Physica **4**, 473, 1937.
10) H. E. Farnsworth, Phys. Rev. **20**, 358, 1922; **25**, 41, 1925; S. R. Rao, Proc. Roy. Soc. (A) **128**, 57, 1930.
11) Vgl. außerdem R. Kollath, Zeitschr. f. techn. Phys. **21**, 328, 1940; Ann. (5) **39**, 59, 1941.
12) N. R. Campbell, Phil. Mag. **28**, 286, 1914; **29**, 369, 1915.
13) H. Schnitger, Zeitschr. f. techn. Phys. **21**, 376, 1940.

14) Die Messungen wurden im wesentlichen gemeinsam mit den Herren W. Lang und J. Katz ausgeführt.
15) P. Görlich, PA. Z 25471 vom 12. 9. 1939.

die Leitfähigkeit der SE-Schicht geringer geworden ist. Kollath (l. c.) erhielt durch Oxydation von *Be*-Aufdampfschichten Werte für δ zwischen 2,0 und 2,5.

In gleicher Weise wie bei *Be* auf *Ag* erhält man bei *Ca* auf *Ag* in einer Edelgasglimmentladung eine Vergrößerung der SE. Wir erhielten z. B. an einer *Ca*-Schicht auf *Ag*, die im

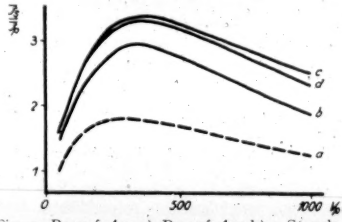


Fig. 2. *Be* auf *Ag*. a) *Be* auf *Ag*; b) 1 Stunde HGE in *Ar*; c) 18 Stunden Elektronenbombardement; d) wiederholte 1stündige HGE in *Ar*.

unbehandelten Zustand $\delta = 0{,}82$ ergab, nach deren Behandlung in einer *Ar*-Glimmentladung eine Steigerung von δ auf 2,01. Ein erneutes Aufdampfen von *Ca* ergab eine Senkung auf 1,11, eine abermalige *Ar*-Entladung jedoch wiederum den höheren Wert 2,04.

Wie sich der SEK mit der Zeit, in der die Glimmentladung stattfindet, ändert, geht aus Tabelle I für eine dicke *Ca*-Schicht auf *Ag* in einer *Kr*-Entladung hervor.

Man erkennt, daß eine *Kr*-Entladung ebenfalls eine Steigerung von δ hervorruft und daß

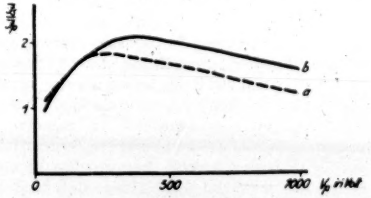


Fig. 3. *Be* auf *Ag*. a) *Be* auf *Ag*; b) 1 Stunde HGE in Sauerstoff.

Tabelle I

Ca auf *Ag*; Abhängigkeit des SEK von der Dauer der HGE

Zeit der *Kr*-Glimmentladung in Stunden	δ
–	0,80
1	1,13
2	1,66
3	1,56
4	1,40
5	1,54

bei längerer Dauer der Glimmentladung ein Endwert des SEK erreicht wird. Ein ähnliches Ergebnis erhält man durch Behandlung einer dünnen *Ca*-Schicht auf *Ag* in einer *He*-Glimmentladung. In Tabelle II sind die aufeinanderfolgenden Behandlungen der Schicht und der entsprechende SEK angegeben. Wiederum erreichten wir einen Endwert des SEK.

Tabelle II

Ca auf *Ag*; Abhängigkeit des SEK von der Dauer der HGE

Behandlungsweise	δ
1. Dünne *Ca*-Schicht auf *Ag*	2,09
2. 1/4 Stunde HGE in *He*	2,24
3. 1/2 Stunde HGE in *He*	2,68
4. Nach 18 Stunden im Hochvakuum	2,44
5. 2 Stunden HGE in *He*	3,30
6. Nach 18 Stunden im Hochvakuum	3,08
7. 1/2 Stunde HGE in *He*	3,04
8. Nach 18 Stunden im Hochvakuum	3,12

Auch *Mg*-Schichten auf *Ag* zeigten eine Zunahme des SEK in Edelgasglimmentladungen, und zwar konnte an einer dünnen *Mg*-Schicht in *Ar*-Entladung eine Steigerung von 1,41 auf 2,55 und an einer dicken *Mg*-Schicht in *He*-Entladung von 0,84 auf 1,85 gemessen werden.

Die Vergrößerung der SE bei Erdalkaliaufdampfschichten durch eine HGE in Edelgasen wird von vornherein nicht vermutet. Wir ziehen zur Deutung folgende Möglichkeiten in Betracht.

a) Durch geringe verunreinigende Gasbeimengungen in den verwendeten Edelgasen könnten chemische Reaktionen während der Entladung an der Oberfläche und in der Schicht auftreten, so daß die Sensibilisierung der Schichten in inaktiven Gasen im wesentlichen einer Sensibilisierung in aktiven Gasen gleichzustellen wäre. Der Unterschied sollte dann nur darin bestehen, daß die Sensibilisierung bei der HGE in Edelgasen wegen der geringen Konzentration der wirksamen aktiven Beimengungen entsprechend langsam fortschreitet.

b) Die Schichtdicken der Erdalkalischichten könnten auf eine für die SE günstigere Schichtdicke abgetragen werden.

c) Es könnte eine Strukturänderung der SE-Schicht durch die Entladung hervorgerufen werden, wobei die Struktur durch Erwärmung der Schicht oder auf irgendeine andere Weise geändert wird. Dabei wäre nicht an eine plötzliche Umlagerung der Atome bei einer bestimmten Temperatur wie bei Kollath (l. c.), sondern an eine langsame Umlagerung, wie sie von Warnecke und Lortie (l. c.) beobachtet wurde, zu denken.

Zu a: Die Reinheit der verwendeten Edelgase wurde uns von der Herstellerfirma zu $> 99{,}9$ Proz. angegeben. Im einzelnen sollten die verwendeten Edelgase die in der Tabelle III angegebenen verunreinigenden Gase enthalten.

Tabelle III

Beimengungen von verunreinigenden Gasen in den verwendeten Edelgasen

Edelgas	Verunreinigung in Proz.
He	$H_2 < 0{,}100$ $N_2 < 0{,}001$ $O_2 < 0{,}001$
Ar	$H_2 < 0{,}010$ $N_2 < 0{,}100$ $O_2 < 0{,}010$
Kr	$H_2 < 0{,}010$ $N_2 < 0{,}010$ $O_2 < 0{,}010$ Spuren von *X*

Über die sensibilisierende Wirkung des O_2 sind oben bereits Angaben gemacht worden, denen entnommen werden kann, daß die geringe verunreinigende O_2-Konzentration eine Sensibilisierung nicht bewirkt. Wir haben nun weiter versucht, entsprechend der H_2-Verunreinigung in *Ar* eine *Be*-Schicht auf *Ag* in einer kurzzeitigen HGE in H_2 (~ 1 sec) zu sensibilisieren, um festzustellen, ob vielleicht die H_2-Verunreinigungen so wirksam sein können, daß die sensibilisierende Wirkung einer HGE mit Edelgasen auf diese zurückgeführt werden kann. Der SEK stieg dabei nur von 1,26 auf 1,62 unter Verschiebung der Lage des Maximums von $V_p = 400$ V nach 325 V. Erst nach einer längeren Wasserstoffglimmentladung (~ 5 min) wuchs δ bis 3,18. Derselbe Wert konnte nach 15stündigem Warten im Hochvakuum wieder gemessen werden. Gegen eine solche Beweisführung kann natürlich der Einwand erhoben werden, daß die Wirkung der H_2- oder O_2-Konzentration im Edelgas eine andere sein kann als in der reinen Wasserstoff- oder Sauerstoffentladung. Eine lichtelektrische Untersuchung von *Ca*-Schichten auf *Ag*, die in einer *Ar*-Glimmentladung behandelt wurden, ergab, daß nach der HGE stets ein Abfall der lichtelektrischen Empfindlichkeit auftritt, während, wenn die geringen Verunreinigungen an Wasserstoff wirksam wären, im Gegenteil eine Sensibilisierung erwartet werden könnte. Diese beiden Ergebnisse veranlassen uns, anzunehmen, daß der SEK von den Verunreinigungen in der oben angegebenen Konzentration nur in untergeordneter Weise beeinflußt sein kann. Der letzte Versuch mit H_2 zeigt überdies besonders gut, daß mit einer Steigerung der SE-Empfindlichkeit nicht notwendig auch die lichtelektrische Empfindlichkeit wachsen muß.

Zu b. In den Tabellen I und II ist gezeigt, daß mit längerer Dauer der Glimmentladung ein nahezu konstanter Wert des SEK erreicht wird. Aus diesem Grunde kann man wohl annehmen, daß auch die Verringerung der Schichtdicke erst in zweiter Linie von Einfluß sein wird.

Überschlägige Untersuchungen in einer gerichteten Glimmentladung ergaben vorläufig keine neuen Anhaltspunkte.

Zu c. Am wahrscheinlichsten scheint uns daher die Annahme in Frage zu kommen, daß durch die HGE eine Strukturänderung hervorgerufen wird. Was[16]) konnte zeigen, daß dünne, im Hochvakuum aufgedampfte *Au*-Schichten bis zu einer gewissen Dicke, die vom Entgasungszustand abhängig ist, amorph sind. Zwischen Schicht und Unterlage sollen nach Was Adhäsionskräfte wirksam sein, die die Kristallisation verhindern. Adsorbierte Gasschichten vermindern die Wirkung der Adhäsionskräfte. Die Adsorption von Gasen kann daher eine Kristallisation hervorrufen. Deutet man unsere Ergebnisse in diesem Sinne, so setzt man sich offenbar in Gegensatz zu den Untersuchungen von Suhrmann und Kundt[17]), die zwar ebenfalls einen ausschlaggebenden Einfluß der Struktur des Sekundärstrahlers feststellen, jedoch einen größeren SEK für den ungeordneten Zustand finden als für den geordneten. Allerdings ist es fraglich, ob man die Ergebnisse, die Suhrmann und Kundt an Aufdampfschichten von *Cu*, *Ag* und *Au* erhielten, auf Erdalkaliaufdampfschichten mit metallischer Unterlage verallgemeinern kann.

Die thermischen Wirkungen der Entladung dürften die Steigerung der SE-Ausbeute nicht hervorrufen. Die Wärmeableitung von der SE-Kathode in der Versuchsapparatur war so groß, daß eine Temperaturerhöhung, die die Umwandlung der Schicht zur Folge haben könnte, niemals erreicht wurde. Möglicherweise sind jedoch lokale Erwärmungen verantwortlich zu machen, die inselartig auf der Schicht verteilte Zentren höherer SE-Empfindlichkeit hervorrufen könnten.

Nicht unerwähnt soll bleiben, daß nach Damianovich[18]) noch eine andere Deutung möglich wäre. Damianovich beschreibt Versuche, die am besten zu verstehen sind, wenn man annimmt, daß sich Verbindungen zwischen Edelgasen und Metallen bilden. Die Bildung einer solchen Verbindung soll in einer Edelgasglimmentladung

16) D. A. Was, Physica **6**, 382, 1939.

17) R. Suhrmann und W. Kundt, Naturwiss. **27**, 548, 1939; die gleiche Frage wird auch in der Arbeit von D. E. Wooldridge und C. D. Hartman, Phys. Rev. **58**, 381, 1940, behandelt.

18) H. Damianovich, An. Asoc. quim argent. **26**, 249, 1938; Schneider, Zeitschr. f. kompr. u. flüss. Gase **34**, 77, 1939; vgl. auch R. W. Wood und H. W. Straub, Phys. Rev. **44**, 1030, 1933.

unter Anwesenheit des Metalls in feiner Verteilung vor sich gehen, also unter ähnlichen Bedingungen, wie wir sie bei unseren Versuchen haben.

Die Untersuchungen der Abhängigkeit des SEK von der Schichtdicke der Aufdampfschicht führten zu den gleichen Ergebnissen wie sie Treloar, Bruining und de Boer[19]) erhielten. Wir verwendeten *Ca* auf *Ag* und bekamen die in Fig. 4 wiedergegebenen Kurven. Mit steigender

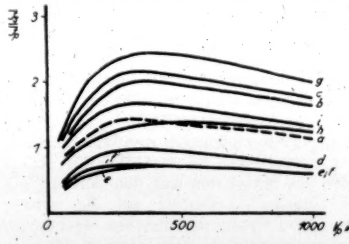


Fig. 4. *Ca* auf *Ag*; Abhängigkeit von der Dicke der *Ca*-Schicht. a) Reine *Ag*-Unterlage; b) sehr dünne *Ca*-Schicht auf *Ag*; c) doppelte Aufdampfzeit wie b); d) 3fache Aufdampfzeit wie b); e) 4fache Aufdampfzeit wie b); f) 5fache Aufdampfzeit wie b); g) 1 Stunde HGE in *He*; h) nochmaliges Aufdampfen von *Ca*; i) 1stündige HGE in *He*.

Schichtdicke der Aufdampfschicht läuft der SEK über ein Maximum. Das gleiche Ergebnis erhielten wir mit *Be*-Schichten auf *Ag*. Der größte Wert von δ wurde bisher bei einer äußerst dünnen *Be*-Schicht auf nicht entgaster *Ag*-Unterlage zu 4,22 gemessen. Einer besonderen Temperaturbehandlung war die Schicht nicht unterworfen. Man könnte nach diesen Ergebnissen geneigt sein, mit Treloar anzunehmen,

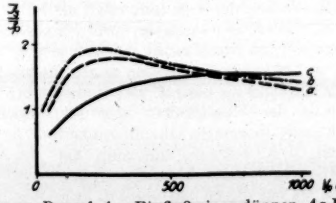


Fig. 5. *Be* auf *Ag*; Einfluß einer dünnen *Ag*-Deckschicht. a) *Be* auf *Ag*; b) dünne *Ag*-Schicht auf *Be*-Schicht; c) 1 Stunde HGE in *Ar*.

daß der SEK in der gleichen Weise von der Austrittsarbeit abhängig ist wie der Photostrom beim äußeren lichtelektrischen Effekt. Das würde bedeuten, daß die SE unter den gleichen Bedingungen wie die lichtelektrische Emission stattfindet. Außer der oben gemachten Feststellung, daß *Ca*-Schichten in der Edelgasglimmentladung geringere lichtelektrische Empfindlichkeiten geben im Gegensatz zur SE-Ausbeute, widerspricht ein weiterer von uns angestellter Versuch dieser Annahme. Eine *Be*-Schicht auf *Ag* zeigte $\delta = 1{,}80$. Beim Aufdampfen einer sehr dünnen *Ag*-Schicht war nur eine geringe Änderung des SEK ($\delta = 1{,}92$; vgl. Fig. 5), und praktisch keine Verschiebung des Maximums von V_p zu erhalten ($V_{p\,max.}$ in beiden Fällen 250 V). Wenn man nun die Kathode einer *Ar*-Glimmentladung aussetzt, wird keine Steigerung des SEK beobachtet, sondern ein Absinken des SEK unter Verschiebung von $V_{p\,max.}$ nach 800 V erzielt. Wir glauben, daß sich, wie im Falle der Einlagerung von *Ag* in Cs_2O-Kathoden[20]), der Einfluß der Absorption der Primärelektronen[21]) entscheidend bemerkbar macht und nähern uns damit der Deutung von Bruining und de Boer (l. c.), daß ein großer SEK an Stoffen auftritt, bei denen Sekundärelektronen durch Primärelektronen in ein höheres Energieband gebracht werden, von wo sie ohne einen besonderen Energiebetrag die Substanz verlassen können. Danach ist die Lage der langwelligen lichtelektrischen Grenze und damit der Austrittsarbeit nicht allein maßgebend; vielmehr muß die langwellige Grenze dem ersten Absorptionsband an der roten Seite des Absorptionsspektrums entsprechen. Daß der Photoeffekt und die SE nicht gekoppelt sind, konnte auch Kollath[22]) durch Messungen an *Be*-Legierungsschichten nachweisen, die nicht lichtempfindlich sind, jedoch einen großen SEK aufweisen.

III. Zusammenfassung

Es wird gezeigt, daß es möglich ist, Erdalkaliaufdampfschichten auf Metallunterlage durch Hochfrequenzglimmentladungen in Edelgas zu sensibilisieren. Als wahrscheinlichste Deutung wird eine Strukturänderung der Schicht in Betracht gezogen.

Die Messung des SEK in Abhängigkeit von der Schichtdicke ergibt, daß der SEK bei wachsender Schichtdicke der Alkaliaufdampfschicht über ein Maximum läuft. Man kann jedoch daraus nicht schließen, daß der SEK in erster Linie von der Austrittsarbeit abhängig ist.

19) Vgl. besonders J. H. de Boer und H. Bruining, Physica **6**, 941, 1939.

20) N. Chlebnikov und A. Korshunova, Techn. Phys. (russ.) **5**, 363, 1938; A. Dobroljubski, Techn. Phys. (russ.) **8**, 226, 1938.

21) Vgl. auch H. Bruining, Physica **5**, 901, 913, 1938.

22) R. Kollath anläßlich eines Vortrages in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft Berlin am 29. 1. 1941.

Dresden, im Mai 1941.

(Eingegangen 28. April 1941)

Untersuchung der Relaxationszeit an Gemischen von polaren und unpolaren Flüssigkeiten[1])

Von Herbert Spengler

I. Einleitung und Problemstellung

Dispersion und die mit ihr verbundene Absorption polarer Substanzen, insbesondere also auch polarer Flüssigkeiten und ihrer Mischungen mit unpolaren, lassen sich phänomenologisch durch den reellen und imaginären Teil der Dielektrizitätskonstante beschreiben (1):

$$\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon''. \tag{1}$$

Die in der Zeiteinheit absorbierte Wärmemenge läßt sich mit der Formel

$$W = \frac{\omega \varepsilon''}{8\pi} \cdot E^2 \text{ pro cm}^3 \tag{2}$$

berechnen. Hierbei bedeuten W die Wärmemenge in Ergsekunden, ω die Kreisfrequenz und E die Amplitude des auf die Substanz wirkenden elektrischen Wechselfeldes in elektrostatischen Einheiten.

Der molekularen Beschreibung des Absorptionsvorganges liegt das Bild der als Kugeln idealisierten polaren Moleküle, die in dem Wechselfeld Rotationsbewegungen ausführen, zugrunde. Hierbei sind sie Reibungskräften unterworfen, die sich nach der Stokesschen Formel aus der makroskopischen Zähigkeit η des sie umgebenden Mediums berechnen lassen. Die Debyesche Theorie, die dieses Bild in eine quantitative Formulierung bringt, führt zu einer charakteristischen Größe, der Relaxationszeit τ. Anschaulich stellt dabei der reziproke Wert von τ ungefähr die Frequenz dar, bei der die Absorption ihr Maximum erreicht. Die Theorie liefert weiterhin einen Zusammenhang zwischen der Relaxationszeit und dem Molekülradius a durch die Formel:

$$\tau = \frac{4\pi\eta a^3}{kT}. \tag{3}$$

Die Erfahrung hat nun gezeigt, daß die aus dieser Formel mit Hilfe der experimentell bestimmten Relaxationszeiten berechneten Molekülradien in vielen Fällen mit den aus andersartigen Messungen bestimmten in befriedigender Übereinstimmung waren; häufig erhielt man jedoch – besonders bei Messungen an reinen Dipolflüssigkeiten und an konzentrierten Lösungen – völlig unplausible Werte. Diese Diskrepanz ist keineswegs verwunderlich; denn einerseits ist die Annahme einer Kugelgestalt für das Molekül nur eine rohe Annäherung an die Wirklichkeit, andererseits ist die Annahme eines Clausius-Mosotti-Feldes, auf die sich die Ableitung der obigen Formel stützt, zwar für verdünnte Lösungen gerechtfertigt, aber bei konzentrierten Lösungen und reinen Dipolflüssigkeiten nicht zulässig. Müßte man doch z. B. unter dieser Annahme bei einer Mischung von polarer und unpolarer Flüssigkeit für alle Konzentrationen denselben Wert für τ/η finden, was, wie das Experiment zeigt, nicht zutrifft.

Verantwortlich für die Änderung der Relaxationszeit bei verschiedenen Konzentrationen sind die zwischenmolekularen Kräfte (wie z. B. Dipol-Dipol-Wechselwirkung).

Umgekehrt bilden aber nun Untersuchungen der Relaxationszeit als Funktion der Konzentration ein Mittel, um aus den Abweichungen vom „idealen" Verhalten auf die zwischenmolekularen Kräfte zu schließen. Insbesondere kann man erwarten, aus solchen Messungen etwas darüber zu erfahren, wie sich die zwischen den Dipolen wirkenden Kräfte als Funktion der Konzentration, also des Abstandes der Moleküle ändern.

Eine theoretische Grundlage für derartige Messungen liefert z. B. die Debyesche Theorie von der Rotationsbehinderung (1, 2).

Die Durchrechnung der Theorie ergibt für die Dipolflüssigkeiten eine Verkleinerung der Molekularpolarisation gegenüber der im Gaszustand oder in der verdünnten Lösung gemessenen, und andererseits eine Verkleinerung der Relaxationszeit, oder, was dasselbe bedeutet, eine Verschiebung des Maximums der Absorption zu höheren Frequenzen.

Der Verlauf der Relaxationszeit als Funktion der Konzentration wurde an zwei Flüssigkeiten untersucht, an Nitrobenzol, das eine sehr große, und an Chlorbenzol, das eine relativ kleine Behinderungsenergie besitzt. Bestimmend bei der Auswahl der Flüssigkeiten war der Gesichtspunkt, mit „normalen Dipolflüssigkeiten" zu arbeiten, d. h. solchen, die man als „in van Arkelschem Sinne assoziiert" (3) betrachten kann, da bei diesen am ehesten eine Wechselwirkung anzunehmen ist, die dem Debyeschen Ansatz entspricht, während z. B. die sonst vielfach untersuchten Alkohole durch das in der sehr freiliegenden polaren *OH*-Gruppe lokalisierte Moment zu stöchiometrisch definierten Assoziationskomplexen neigen, die sich durch den Debyeschen Ansatz nur schlecht erfassen lassen.

Die Messung der Relaxationszeit erfolgte durch Messung der Hochfrequenzerwärmung. Die von der Hochfrequenz erzeugten Wärmemengen wurden kalorimetrisch nach der

1) D 1.

„Thermometermethode" von Harms bestimmt, die bereits vielfach für derartige Messungen Verwendung gefunden hat (4). Fig. 1 zeigt ein Schema der Anordnung: Der Sender S liefert über den Zwischenkreis Z die Hochfrequenzspannung an den Meßkreis. Im Meßkreis befindet sich das als Thermometer ausgebildete Kalorimetergefäß mit dem kleinen Plattenkondensator C. Wird, nachdem das Kalorimetergefäß mit der Versuchsflüssigkeit gefüllt ist, die Hochfrequenzspannung an den Kondensator gelegt,

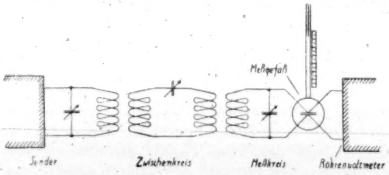


Fig. 1. Schema der Anordnung.

so steigt infolge der Erwärmung die Flüssigkeit in dem Kapillarrohr empor. Die Steiggeschwindigkeit wird gemessen, sie hängt außer von der von der Flüssigkeit aufgenommenen Hochfrequenzenergie noch von den thermischen Daten der Flüssigkeit ab, dem sog. Ausdehnungsfaktor [Martin (4)]:

$$A = \frac{\varrho \cdot c}{\alpha} \,. \tag{4}$$

Hierin bedeutet ϱ die Dichte, c die spezifische Wärme und α den Ausdehnungskoeffizienten der Flüssigkeit. Der Ausdehnungsfaktor wurde ebenfalls kalorimetrisch gemessen.

Der Zusammenhang zwischen beobachteter Hochfrequenzerwärmung und Relaxationszeit ergibt sich, wenn man in Gleichung (2) den folgenden Ausdruck für ε'' einsetzt (vgl. Debye, Polare Molekeln, § 19):

$$\varepsilon'' = \frac{\varepsilon - n^2}{1 + \dfrac{\varepsilon + 2}{n^2 + 2}\,\omega\tau} \cdot \frac{\varepsilon + 2}{n^2 + 2}\,\omega\tau \,, \tag{5}$$

wobei ε die Dielektrizitätskonstante bei der Frequenz Null, die statische Dielektrizitätskonstante, und n^2 die Dielektrizitätskonstante bei sehr hohen Frequenzen, die „optische" Dielektrizitätskonstante bedeutet, die man nach der allgemeinen Theorie der Lichtausbreitung mit dem Quadrat des Brechungsindex identifiziert. Unter der Voraussetzung, daß $\omega\tau$ sehr klein gegen 1 ist (genügend lange Wellen), erhält man, wenn man den so vereinfachten Ausdruck für ε'' in Gleichung (2) einsetzt, die bekannte Formel:

$$W = \frac{\varepsilon - n^2}{8\pi} \cdot \frac{\varepsilon + 2}{n^2 + 2}\,\omega^2 E^2 \tau \,. \tag{6}$$

Für Schwingungen von der (Kreis-) Frequenz ω ist dann W die Erwärmung in Ergsekunden pro cm³, n der Brechungsindex der Flüssigkeit. Führen wir statt E die Amplitude der an dem Kondensator mit dem Plattenabstand d liegenden, in elektrostatischen Einheiten gemessenen Wechselspannung U ein, so ist $E = U/d$, und die in dem Volumen des Kondensators, dessen Kapazität C ist, entwickelte Wärmemenge

$$W = \frac{\varepsilon - n^2}{8\pi} \cdot \frac{\varepsilon + 2}{n^2 + 2}\,\omega^2 U^2 \tau \cdot 4\pi C \,. \tag{6a}$$

Die Relaxationszeit berechnet sich dann zu

$$\tau = W \frac{8\pi}{\varepsilon - n^2} \cdot \frac{n^2 + 2}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{1}{\omega^2 U^2 \cdot 4\pi C} \,. \tag{7}$$

Wie aus Gleichung (7) hervorgeht, erfordert also die Messung der Relaxationszeit die Messung von W als Funktion von U und ω, von ε und von n. Im folgenden soll zunächst die Apparatur zur Messung der Hochfrequenzerwärmung beschrieben werden.

II. Meßanordnung

a) Sender

Die Hochfrequenz lieferte ein zweistufiger Sender in Gegentaktschaltung. Durch die Verwendung von zwei Stufen ließ sich ein hoher Grad von Rückwirkungsfreiheit erzielen. In der ersten Stufe arbeiteten zwei Röhren der Type RS 69 (Telefunken) in einer Holborn-Schaltung. Ihre verhältnismäßig große Leistung gestattete eine lose Ankopplung der zweiten Stufe. Diese war mit zwei Röhren der Type RS 290 bestückt, die als Penthoden eine besondere Neutralisierung unnötig machten: bei Abschalten der ersten (Steuer-) Stufe trat keinerlei Selbsterregung ein. Die Frequenz des Senders betrug ungefähr 13500 kHz. Da die Frequenz der Wechselspannung quadratisch in die Formel zur Berechnung der Relaxationszeit eingeht, wurde sie sorgfältig mit einem Präzisionsfrequenzmesser nach Rhode (Physikalisch-Technisches Entwicklungslabor, München) bestimmt.

b) Meßkreis

Der Meßkreis war über einen Zwischenkreis, der einen eventuell noch vorhandenen Rest von Oberwellen aussieben sollte, angekoppelt. Er bestand aus Ankoppelspule, dem Ausgleichskondensator, einem normalen Kurzwellendrehkondensator mit keramischer Isolation, dem Meßgefäß und dem Röhrenvoltmeter.

Der Ausgleichskondensator diente zum Ausgleich der Kapazitätsveränderungen, die im Meßkreis durch die Füllung des Meßgefäßes mit

Flüssigkeiten verschiedener Dielektrizitätskonstante entstanden. Durch Kurzschlußbügel konnten Zwischenkreis und Meßkreis so verstimmt werden, daß die Kondensatorplatten keine Spannung mehr enthielten.

Ein Hauptgesichtspunkt bei der Konstruktion des als Kalorimeter dienenden Meßgefäßes war, den sog. Nullverlust klein zu halten. Füllt man nämlich das Gefäß mit Benzol oder einer anderen unpolaren Flüssigkeit, die keinen dielektrischen Verlust zeigt, so beobachtet man beim Anlegen einer Hochfrequenzspannung eine geringe Erwärmung. Dieser „Nullverlust" kann zwei Ursachen haben: Erstens tritt im Glas, besonders an den Einschmelzstellen der Zuführungen, ein bestimmter dielektrischer Verlust auf, zweitens kann man erwarten, daß die Verschiebungsströme wegen des überdies durch Skineffekt vergrößerten Widerstandes der Zuleitungen eine gewisse Stromwärme erzeugen. Um den ersten Effekt möglichst klein zu halten, war der Gefäßkörper aus Minosglas geblasen worden, das kleine dielektrische Verluste zeigt. Unangenehmer erscheint der zweite Effekt, da er quadratisch von der Dielektrizitätskonstante der eingefüllten Flüssigkeit abhängen muß. Durch eine geeignete Konstruktion der Zuleitungen konnte er jedoch unmerklich klein gehalten werden. Die Elektroden bestanden aus Platin, die Zuführungen wurden durch dünne Silberbänder gebildet. Daß der zweite Effekt tatsächlich unmerklich klein war, zeigte sich bei dem — an sich mißglückten — Versuch, die Relaxationszeit von Azeton zu messen. Diese ist sehr klein, so daß man bei 13,5 MHz noch zu weit vom Dispersionsgebiet entfernt ist, um eine merkliche Dipolabsorption zu beobachten. So beobachtet man nur die durch die Ohmsche Leitfähigkeit der Flüssigkeit verursachte Erwärmung. Diese war bei Hoch- und bei Niederfrequenz (500 Hz), abgesehen von dem Glasverlust, innerhalb der Fehlergrenze von der gleichen Größe. Würde der Zuleitungseffekt eine Rolle spielen, so hätte bei Hochfrequenz die Erwärmung größer sein müssen.

Die Kapillare war vor dem Anschmelzen kalibriert worden; es war ein Stück mit kleinem Kaliberfehler ausgesucht worden, um lästige Korrektionen zu vermeiden. Der Querschnitt betrug $3{,}680 \cdot 10^{-3}$ cm².

Die thermischen Vorgänge, die sich in dem Kalorimetergefäß abspielen, sind ziemlich kompliziert. Die Erwärmung findet in der Hauptsache zwischen den beiden Elektrodenplatten statt. Von der erzeugten Wärme fließt ein Teil sogleich durch die dicke Platinzuführung ab, die erwärmte Flüssigkeit strömt dann aus dem Zwischenraum heraus, verteilt sich irgendwie in dem Gefäß, wobei der Strömungsvorgang im einzelnen nicht zu übersehen ist, und kühlt sich an den Gefäßwänden ab. Jedenfalls muß man annehmen, daß die gemessene Steiggeschwindigkeit, da der Erwärmungsvorgang keineswegs adiabatisch erfolgt, stark von der Konstruktion des Gefäßes abhängt. Aus diesem Grunde ist es von Wichtigkeit, für die Messung des Ausdehnungsfaktors ein Gefäß von ähnlicher Konstruktion zur Verfügung zu haben wie für die Messung des Hochfrequenzeffektes. Dieser Anforderung entsprach sehr gut das schon von Fischer (5, 6) für seine Messungen benutzte Gefäß, das deshalb auch hier Verwendung fand. Es entsprach in seinen Abmessungen ziemlich genau dem Hochfrequenzgefäß. Zwischen den beiden Elektroden war eine kleine Konstantenspirale angebracht, die mit Gleichstrom geheizt wurde. Aus der vom Gefäß aufgenommenen Gleichstromleistung und der dabei beobachteten Steiggeschwindigkeit in der Kapillaren ergibt sich dann eine thermische Eichung des Gefäßes.

c) Röhrenvoltmeter

Ursprünglich war beabsichtigt worden, die Hochfrequenzspannung mit einem Röhrenvoltmeter mit automatischer Vorspannung (Widerstand mit parallel oder in Reihe geschaltetem Kondensator) zu messen (sog. *C*-Gleichrichtung). Diese Absicht scheiterte indessen daran, daß das Röhrenvoltmeter in symmetrischer Schaltung aufgebaut werden mußte und die Kennlinien der beiden als Gleichrichterröhren dienenden Dioden SA 1 (Telefunken), die zur Verfügung standen, nicht genügend übereinstimmten. Infolgedessen wäre eine Einstellung bzw. Kontrolle der Symmetrie der Spannungsmessung nur sehr schwer möglich gewesen. Aus diesem Grunde mußte auf diese, wegen der direkten Anzeige so bequeme Schaltung verzichtet werden, und es wurde auf die von Fischer angegebene zurückgegriffen, deren Elemente entsprechend umdimensioniert werden mußten, um sie der größeren Wellenlänge anzupassen. Sie arbeitet mit kompensierter Gegenspannung und ist daher bei größeren Spannungen wegen des Aufwandes an Anodenbatterien nicht so handlich, dagegen besitzt sie den entscheidenden Vorzug, von dem Verlauf der Kennlinien der verwendeten Röhren praktisch unabhängig zu sein und ferner eine bequeme und dauernde Überwachung der Symmetrie der Spannungsmessung zu ermöglichen. Gerade der letzte Punkt ist hier von Wichtigkeit; denn bei den verschiedenen Einstellungen des Abgleichkondensators ändert sich seine Erdkapazität und damit die Symmetrie des

Meßkreises. Durch kleine Verschiebungen des Mittelabgriffs der Empfangsspule konnte diese dann wieder in Ordnung gebracht werden. Natürlich war der Meßkreis schon von vornherein möglichst symmetrisch aufgebaut worden.

Eine Diskussion der bei dieser Schaltung möglichen Fehler hat Fischer durchgeführt. Eine Abschätzung ergibt, daß der durch die Spannungsmessung mögliche Fehler bei der Bestimmung von τ kleiner als 3 Proz. anzunehmen ist.

d) Einzelheiten des Versuchsaufbaues

Das Röhrenvoltmeter war zusammen mit dem Kalorimetergefäß in einem doppelwandigen Metallkasten mit zwei Abteilungen für Voltmeter und Kalorimetergefäß eingebaut, die ebenfalls durch eine Doppelwand voneinander getrennt waren. Die Zuleitungen für die Hochfrequenz und für das Röhrenvoltmeter waren durch kleine Trolitulfenster geführt, die in der Wand eingelassen waren. Als Wärmeschutz waren die Wände mit Schlackenwolle ausgestopft. Von dem Röhrenvoltmeter führten die Gleichspannungszuführungen, die mit Metallschlauch abgeschirmt waren, zu dem Meßplatz. Durch die eingebauten Kondensatoren und Drosseln war die Hochfrequenz so gut abgesperrt, daß ein Berühren der Leitungen auf die Anzeige des Röhrenvoltmeters keinen Einfluß hatte.

Sehr wichtig für die Messungen ist eine möglichst gute Temperaturkonstanz des Zimmers. Um einen Begriff von der Empfindlichkeit des Thermometergefäßes zu geben, sei erwähnt, daß z. B. 1 mm auf der Skala einem Temperaturintervall von ungefähr $4{,}2 \cdot 10^{-3}$ Grad entsprach. Um die erforderliche gleichmäßige Temperatur zu erzielen, wurde das Zimmer mit Hilfe eines Quecksilberkontaktthermometers als „Thermostat" eingerichtet, der die Zimmertemperatur auf $25 \pm 0{,}1°$ C konstant hielt.

III. Ausführung der Messungen

Eine Messung der Hochfrequenzverluste ging folgendermaßen vor sich: Nachdem das Kalorimetergefäß gefüllt war und die Verbindungen mit den Zuleitungen von Hochfrequenz und Röhrenvoltmeter hergestellt waren, mußte zunächst abgewartet werden, bis sich das Temperaturgleichgewicht einigermaßen eingestellt hatte. Es wurde so lange gewartet, bis der noch vorhandene, an dem Flüssigkeitsmeniskus in der Kapillaren abgelesene Temperaturgang kleiner als 0,3 mm pro Minute war. Er wurde einige Minuten beobachtet, um seine Konstanz zu prüfen, gemessen und dann die Hochfrequenzspannung durch Entfernen des Kurzschlußbügels von Zwischenkreis und Meßkreis eingeschaltet. Nach 3 Minuten, während derer sich stationäre Verhältnisse im Kalorimetergefäß ausgebildet hatten, wurde die Steiggeschwindigkeit gemessen. Gleichzeitig wurde die vom Röhrenvoltmeter angezeigte Spannung überwacht und nach Bedarf eventuelle kleine Schwankungen durch Regeln der Anodenspannung des Senders ausgeglichen. Durch einen Vorversuch war schon vorher eine solche Hochfrequenzspannung eingestellt worden, daß die Steiggeschwindigkeit bequem meßbare Werte von etwa 20–40 mm pro Minute erreichte. (Nur bei einigen Messungen an kleineren Konzentrationen von Chlorbenzol in Benzol ließ sich wegen des geringen Effektes diese Geschwindigkeit nicht erreichen.) Die jeweiligen Temperaturgänge der Vorperiode wurden dann von den Werten der Hauptperiode abgezogen.

Es wurden im allgemeinen 6 Messungen gemacht, die um etwa 0,5–1 Proz. von dem gemeinsamen Mittelwert abwichen. Man kann also bei den Erwärmungsmessungen mit einem maximalen Fehler von etwa 1 Proz. rechnen.

Die konzentrierten Nitrobenzollösungen besitzen eine gewisse, wenn auch bei sehr reinen Präparaten nicht sehr große Leitfähigkeit (etwa 10^{-9} bis $10^{-7}\ \Omega^{-1}$), die sich zwar durch Destillieren und elektrolytische Reinigung vermindern läßt, aber bei Berührung mit der Zimmerluft und bei Belichtung sofort wieder wächst. Da sich beides bei den Versuchen nicht vermeiden ließ, wurde darauf verzichtet, und der der Ohmschen Leitfähigkeit zuzuschreibende Effekt mit Niederfrequenz bestimmt und von dem Hochfrequenzeffekt abgezogen. Er betrug höchstenfalls etwa 10 Proz. des letzteren.

Zur Messung des Leitfähigkeitseffektes wurde die Spule entfernt, ein Transformator angeschlossen, der etwa 2,5 kV lieferte und mit 500 Hz betrieben wurde, und die Steiggeschwindigkeit in der gleichen Weise wie bei Hochfrequenz gemessen.

Um den Ausdehnungsfaktor zu messen, wurde das Hochfrequenzkalorimetergefäß gegen das oben beschriebene Gefäß zur Messung des Ausdehnungsfaktors ausgetauscht. Die zugeführte Gleichstromleistung wurde durch Stromspannungsmessung bestimmt. Es mußte darauf geachtet werden, daß die Steiggeschwindigkeiten bei der Ausdehnungsfaktormessung einigermaßen gleich denen bei der Hochfrequenzmessung waren. Das hat folgenden Grund: Infolge der dicken Zuleitungen ist der „thermische Wirkungsgrad" der Gefäße ziemlich klein, nur etwa 65 Proz. der hineingesteckten Wärme wird als Steigen des Flüssigkeitsmeniskus in der

Kapillaren sichtbar. Infolgedessen ist die Steiggeschwindigkeit ziemlich stark abhängig von der Temperaturerhöhung über die Umgebung. Sie wird aber auch aus demselben Grund mit der Zeit immer kleiner. Deshalb wurden auch die Messungen des Ausdehnungsfaktors stets nach derselben Zeit nach dem Einschalten (3 Minuten) begonnen, wie die Hochfrequenzmessungen.

Aus demselben Grund wurde auch ein Vergleich der thermischen Wirkungsgrade der beiden Gefäße vorgenommen. Hierzu wurden sie mit Alkohol, der durch eine Spur *NaCl* leitend gemacht war, gefüllt, und einmal bei 500 Hz im Hochfrequenzgefäß und dann im Ausdehnungsfaktorgefäß der Ausdehnungsfaktor gemessen. Das Verhältnis der dabei erhaltenen Werte ergibt dann das Verhältnis der thermischen Wirkungsgrade; es ergab sich zu $P = 1{,}087$.

Die an sich den Prinzipien eines guten Kalorimeters widersprechende, aber aus den oben geschilderten Gründen hier leider nicht zu umgehende mangelhafte Adiabasie des Kalorimeters bringt eine gewisse Unsicherheit in die thermischen Messungen, die zwar durch die geschilderten Maßnahmen verkleinert wird, aber doch, vorsichtig geschätzt, alles in allem mit etwa 3–4 Proz. anzusetzen ist.

Aus den erhaltenen Steiggeschwindigkeiten läßt sich nun die durch die Hochfrequenz erzeugte Wärme berechnen. Zunächst werde der Ausdehnungsfaktor berechnet: Bedeutet Q_a die zugeführte Energie in cal, v_a die gemessene Steiggeschwindigkeit in cm/sec, r_a den Radius der Kapillaren des Ausdehnungsfaktormeßgefäßes in cm, dann ist

$$A = \frac{Q_a}{v_a \pi r_a^2} = \frac{0{,}2387 \cdot U \cdot I}{v_a \pi r_a^2}, \qquad (8)$$

wobei U die bei dem Versuch gemessene Spannung, I den Strom bedeutet.

Bei den Hochfrequenzmessungen rechnet man zweckmäßig die bei den einzelnen Konzentrationen mit verschiedenen Spannungen gemessenen Steiggeschwindigkeiten gleich auf eine elektrostatische Spannungseinheit (= 300 V) um, um die einzelnen Werte miteinander vergleichen zu können. Die Hochfrequenzerwärmung Q_h läßt sich dann mit der Formel

$$Q_h = \frac{v_h}{U_k^2} \cdot 300^2 \cdot \pi r_h^2 \cdot A \cdot P \text{ cal/sek} \qquad (9)$$

berechnen. U_k ist die in Volt gemessene Kompensationsspannung des Röhrenvoltmeters, v_h die Steiggeschwindigkeit, πr_h^2 der Querschnitt der Kapillaren des Hochfrequenzmeßgefäßes, P der oben erwähnte Faktor, der den verschiedenen thermischen Wirkungsgraden der beiden Gefäße Rechnung trägt.

Bei den Nitrobenzolmessungen ist noch die durch die Ohmsche Leitfähigkeit verursachte Korrektur zu berücksichtigen, die sich aus den gemessenen Steiggeschwindigkeiten v_l ähnlich wie die Hochfrequenzwerte berechnen läßt:

$$Q_l = \frac{v_l}{U^2} \cdot \frac{300^2}{(\sqrt{2})^2} \cdot \pi r_h^2 \cdot A \cdot P \text{ cal/sek} \qquad (10)$$

(U = Spannung in Volt, $\sqrt{2}/300$ Umrechnung auf elektrostatische Einheiten und Scheitelspannung).

Der reine Hochfrequenzeffekt Q hat also, wenn Q_0 den erwähnten Nullverlust (die Erwärmung, die man bei Füllung des Gefäßes mit reinem Benzol beobachtet, vgl. S. 136) bezeichnet, die Größe

$$Q = Q_h - Q_l - Q_0. \qquad (11)$$

Es bleibt noch die Messung der Dielektrizitätskonstanten und des Brechungsindex der einzelnen Konzentrationen und die Bestimmung der Kapazität des Kondensators in dem Kalorimetergefäß.

Die Messung der Dielektrizitätskonstanten der Flüssigkeitsgemische erfolgte teils in einem „Dielkometer" (Firma Haardt & Co.), teils in einer Präzisionskapazitätsbrücke von Ulrich. Als Flüssigkeitskondensator diente ein Zylinderkondensator aus Glas, der aufgebrannte Platinbelegungen trug. Die erforderliche Temperaturkonstanz der eingefüllten Flüssigkeit wurde durch den „Zimmerthermostaten" aufrechterhalten.

Die Brechungsindizes der Flüssigkeiten wurden in einem Abbeschen Refraktometer gemessen.

Die Kapazität des Kondensators im Kalorimetergefäß wurde in üblicher Weise bestimmt, indem dieses mit verschiedenen Flüssigkeiten bekannter Dielektrizitätskonstante gefüllt wurde, und die zugehörigen Kapazitätswerte auf $\varepsilon = 1$ extrapoliert wurden. Sie ergab sich zu $C = 1{,}818$ cm.

Die Werte für die Viskosität der Gemische wurden dem Landolt-Börnstein bzw. den Critical Tables entnommen. Da sich die Viskosität bei den Systemen Benzol-Nitrobenzol und Benzol-Chlorbenzol fast linear mit der Konzentration ändert, lassen sich mit den dort angegebenen Werten Kurven zeichnen, die die benötigten mit guter Genauigkeit zu entnehmen gestatten.

IV. Meßergebnisse und Diskussion

a) Nitrobenzol

In Tabelle I sind die Meßergebnisse an den Lösungen von Nitrobenzol in Benzol dargestellt. c bedeutet die Konzentration in Molprozent

Nitrobenzol, U die Spannung, bei der die betreffende Lösung gemessen wurde. Q_h ist die erzeugte Hochfrequenz-, Q_l die durch Eigenleitfähigkeit, $Q = Q_h - Q_l - Q_0$ die rein durch Dipolverlust erzeugte Wärmemenge (Q_0 ist der Nullverlust). Alle drei Wärmemengen sind der Anschaulichkeit halber auf eine elektrostatische Spannungseinheit (300 Volt) bezogen. Bei den Versuchen selbst war aus praktischen Gründen, wie bereits erwähnt, durch Variation der Spannung dafür gesorgt worden, daß die erzeugten Temperatursteigerungen einigermaßen gleich waren. Die Wärmemengen sind in 10^{-4} cal pro Sekunde angegeben. ε und n sind die zu den betreffenden Lösungen gehörenden Dielektrizitätskonstanten und Brechungsindizes.

Tabelle I
Nitrobenzol in Benzol
$f = 13362$ kHz

c	U	Q_h	Q_l	Q	ε	n
0,0	1100	0,689 (=Q_0)	—	0,00	2,274	1,501
9,205	1100	4,672	0,337	3,646	4,23	1,506
20,06	780	11,86	0,54	10,63	7,06	1,511
29,59	600	18,85	1,47	16,37	9,62	1,516
36,86	530	28,08	2,27	25,12	11,70	1,520
49,62	400	44,07	6,23	37,15	15,20	1,526
69,69	330	82,55	11,66	70,20	22,15	1,537
81,97	280	110,6	6,6	103,3	27,1	1,543
100,0	284	168,0	11,1	156,2	34,12	1,522

In Fig. 2 ist die reine Dipolerwärmung als Funktion der Konzentration aufgetragen. Aus den gemessenen Werten läßt sich dann mit Hilfe

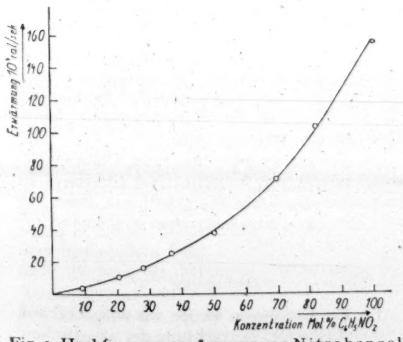


Fig. 2. Hochfrequenzerwärmung von Nitrobenzol als Funktion der Konzentration, bezogen auf 300 V Scheitelspannung.

von Gleichung (7) die Relaxationszeit berechnen, die in Fig. 3 als Funktion der Konzentration aufgetragen ist. Für die Relaxationszeit bei der Konzentration 0 (unendlich verdünnte Lösung) wurde der von Fischer gemessene Wert eingetragen. Auffällig ist bei der Kurve zunächst der starke Abfall der Relaxationszeit im Gebiete der kleinen Konzentrationen. Hierzu soll weiter unten noch einiges gesagt werden. Leider war das – gestrichelt gezeichnete – Gebiet bis zu 10 Molprozent der bei den vorliegenden Untersuchungen verwendeten Apparatur nicht zugänglich, da diese zur Messung größerer Effekte gebaut und nicht empfindlich genug war. Messungen in diesem Gebiet erfordern aber nicht nur

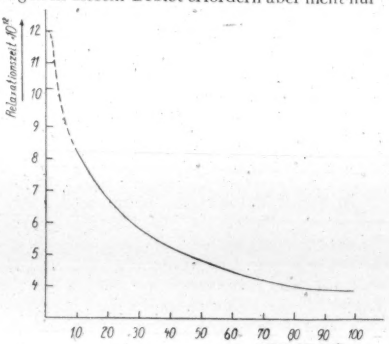


Fig. 3. Relaxationszeit von Nitrobenzol als Funktion der Konzentration. Der interpolierte Teil zwischen der kleinsten gemessenen Konzentration und dem Wert für unendliche Verdünnung ist hier und bei Fig. 5–7 gestrichelt gezeichnet.

die entsprechenden, absolut auszuführenden Wärmemessungen, sondern auch sehr genaue Bestimmungen der Dielektrizitätskonstante, da im Nenner von Gleichung (7) die Differenz $\varepsilon - n^2$ steht, die bei kleiner werdenden Konzentrationen gegen Null strebt.

Über den Verlauf der Kurve unterhalb 0,5 Molprozent läßt sich aber mit Hilfe der Fischerschen Messungen (5,6) noch eine Aussage machen. In diesem Gebiet gilt noch die für verdünnte Lösungen abgeleitete Debyesche Verlustformel

$$Q = \left(\frac{\varepsilon_1 + 2}{3}\right)^2 \cdot 2\pi C \cdot \frac{N\varrho_1}{M_1} \cdot \frac{\mu^2}{3kT} \, f_2 U^2 \tau$$

in der $\varepsilon_1, \varrho_1, M_1$ Dielektrizitätskonstante, Dichte und Molekulargewicht des Lösungsmittels bedeuten. f_2 ist der Molenbruch der gelösten Dipolflüssigkeit. Fischer hat nun innerhalb der Fehlergrenze Proportionalität zwischen f_2 und Q beobachtet. Dies ist aber nur möglich, wenn τ bei kleinen Konzentrationen nahezu konstant ist. Es ist daher ungefähr der gestrichelt gezeichnete Kurvenverlauf zu erwarten.

Die Relaxationszeit der reinen Flüssigkeit, die $3{,}92 \cdot 10^{-12}$ beträgt, stimmt innerhalb der bei derartigen Messungen zu erwartenden Fehlergrenze mit dem von Dahms (8) gefundenen Wert von $4{,}2 \cdot 10^{-12}$ überein. Dagegen ergeben sich größere Abweichungen von den Werten, die von M. Wien (9) aus den Messungen von v. Ardenne, Groos und Otterbein (10) berechnet wurden, wo sich τ zu 4 bis $7 \cdot 10^{-12}$ ergab, und dem von Henrion und van der Grinten mit $\tau = 6{,}0 \cdot 10^{-12}$ (11). Ob der Grund für diese Abweichungen darin zu suchen ist, daß beim Nitrobenzol der Dispersionsverlauf sich, wie es scheint, nicht durch einen einzigen τ-Wert beschreiben läßt, oder ob es sich einfach um experimentelle Fehler handelt, kann hier nicht entschieden werden.

b) Chlorbenzol

In Tabelle II sind die Ergebnisse der Messungen an Mischungen von Chlorbenzol und Benzol zusammengestellt. Die verwendeten Bezeichnungen und Größenangaben sind die gleichen wie beim Nitrobenzol, nur entfällt hier die Eigenleitfähigkeitskorrektur, da diese sehr klein und daher ohne weiteres zu vernachlässigen ist.

Tabelle II
Chlorbenzol in Benzol
$f = 13650$ kHz

c	U	Q_k	Q	ε	n
0,0	1100	0,716 (= Q_0)	—	2,274	1,501
19,60	1200	1,625	5,909	2,944	1,504
39,81	1200	2,396	1,680	3,641	1,509
60,46	1200	3,898	3,682	4,299	1,514
77,67	1000	4,648	3,932	4,449	1,518
100,0	1000	6,500	5,784	5,600	1,525

Fig. 4 zeigt die Dipolerwärmung Q als Funktion der Konzentration. Wie man sieht, sind die

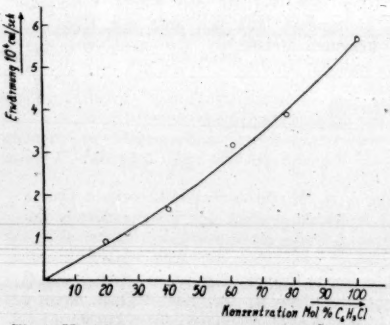


Fig. 4. Hochfrequenzerwärmung von Chlorbenzol als Funktion der Konzentration, bezogen auf 300 V Scheitelspannung.

zu beobachtenden Effekte wesentlich kleiner, und das ist auch der Grund dafür, daß die Meßpunkte etwas stärker streuen als beim Nitrobenzol.

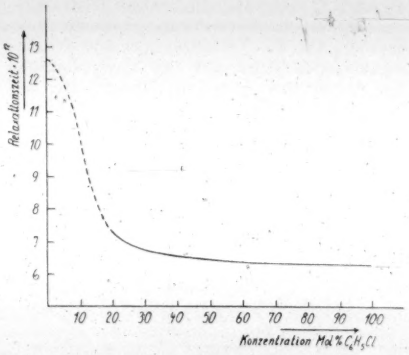


Fig. 5. Relaxationszeit von Chlorbenzol als Funktion der Konzentration.

Die Auswertung der Meßergebnisse geschieht völlig analog dem beim Nitrobenzol geübten Verfahren. Fig. 5 zeigt die Relaxationszeit als Funktion der Konzentration. Auch hier wurde wieder für die Konzentration Null der Fischersche Wert eingesetzt. Ebenso lassen sich die Betrachtungen über den Verlauf im Gebiet der kleinen Konzentrationen übertragen. Fischer (5, 6) hat hier innerhalb der Fehlergrenzen Proportionalität zwischen Verlustwärme und Konzentration bis zu etwa 1,5 Molprozent gefunden. Dann tritt aber auch hier wieder ein steiler Abfall der Relaxationszeit ein, die bei 20 Molprozent, der kleinsten Konzentration, die gemessen wurde, auf 57,5 Proz. des Ausgangswertes gefallen ist. Ab 60 Proz. ist die Relaxationszeit merkwürdigerweise fast konstant.

Die Relaxationszeit des reinen Chlorbenzols wurde bereits von Keutner (12) gemessen. Er fand dafür die Größe $6{,}4 \cdot 10^{-12}$, ein Wert, der mit dem hier gemessenen von $\tau = 6{,}28 \cdot 10^{-12}$ gut übereinstimmt.

Diskussion

Bei der Diskussion wollen wir ausgehen von einer einheitlichen Betrachtung der akustischen, elektrischen und magnetischen Relaxationserscheinungen, die R. de L. Kronig (13) durchgeführt hat. Danach sieht man ganz allgemein Systeme, in denen Relaxationserscheinungen auftreten, als ein Gesamtsystem an, das aus verschiedenen Teilsystemen besteht, deren jedes einer Reihe von Zuständen mit einer bestimmten Energie fähig ist. Im thermodynamischen

Gleichgewicht sind diese Teilsysteme über die verschiedenen Energiewerte nach dem Boltzmannschen Gesetz verteilt. Damit nach einer Störung des Gleichgewichts sich dieses wieder einstellen kann, müssen Übergangswahrscheinlichkeiten für die verschiedenen Zustände bestehen (bei kontinuierlich veränderlichen Zuständen „Übergangswiderstände"), d. h. die Teilsysteme müssen Energie miteinander austauschen können. Stört man in einem bestimmten Augenblick durch eine äußere Kraft das Gleichgewicht, dann ist die Zeit, innerhalb derer die Abweichungen von der Gleichgewichtsverteilung auf den e-ten Teil abgeklungen sind – man nennt sie die Relaxationszeit – ein Maß für die Geschwindigkeit des Austausches. Die Relaxationszeit wird ihrerseits durch die Größe der Übergangswahrscheinlichkeiten bzw. der Übergangswiderstände bestimmt.

Bei den dielektrischen Relaxationserscheinungen sind die Teilsysteme die elektrischen Dipole, ihre Energiezustände in bezug auf das äußere elektrische Feld sind kontinuierlich veränderlich, da Orientierung in jeder beliebigen Richtung zum Feld möglich ist. Durch das Anlegen des äußeren Feldes wird eine Störung in der Richtungsverteilung der Dipole hervorgerufen, die Dipole werden sich in einer Richtung bevorzugt einstellen. Ist das Feld verschwunden, geht diese Ordnung verloren; die Geschwindigkeit, mit der dies geschieht, ist durch die Relaxationszeit charakterisiert (14). Die Aufgabe ist, mit ihrer Messung Aussagen über den Mechanismus des Energieaustausches und über den Übergangswiderstand zu erhalten.

Ein solcher Mechanismus ist nun dadurch gegeben, daß die Dipolmoleküle insgesamt der Brownschen Drehbewegung unterliegen. Insbesondere kann man für ein in einem unpolaren Lösungsmittel verdünnt gelöstes Dipolmolekül das Bild der rotierenden Kugel zugrunde legen, die bei der durch Drehung bewirkten Änderung ihrer Energiezustände im Feld Reibungswiderstand in einem Medium der Viskosität η nach dem Stokesschen Gesetz erfährt. Man erhält so nach Debye die bekannte Verknüpfung der Relaxationszeit mit der Viskosität η und dem Molekülradius a

$$\tau = \frac{4\pi\eta \cdot a^3}{kT},$$

d. h. der Energieaustausch geht um so langsamer vor sich, je größer die Viskosität und je größer das Molekül ist. In verdünnten Lösungen ist nach früheren Messungen diese Beziehung (bis auf einen im wesentlichen konstanten Proportionalitätsfaktor für die Viskosität) hinreichend erfüllt, es lassen sich sogar die Einflüsse der Molekülgestalt u. a. m. quantitativ erfassen (15); die Größe τ hängt dann also nur von Molekülgröße und -form ab.

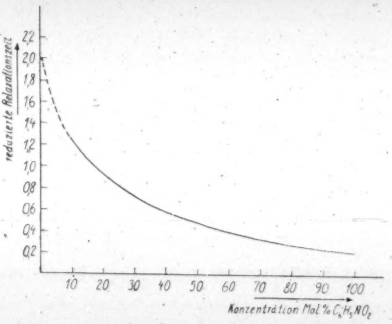


Fig. 6. Reduzierte Relaxationszeit von Nitrobenzol als Funktion der Konzentration.

Diese einfachen Verhältnisse bestehen jedoch nicht mehr, wenn man zu konzentrierten Lösungen oder zur reinen Dipolflüssigkeit übergeht. Wie die Messungen an Nitrobenzol und Chlorbenzol (Fig. 6 und 7) zeigen, bleibt der Wert

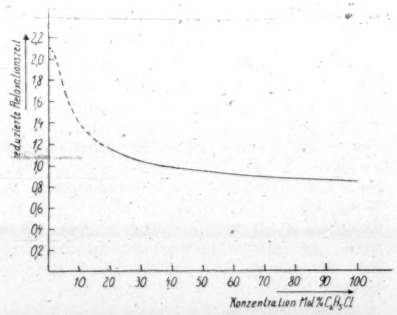


Fig. 7. Reduzierte Relaxationszeit von Chlorbenzol als Funktion der Konzentration.

τ/η nicht konstant für alle Konzentrationen, sondern nimmt im ersten Fall auf den 9,85ten Teil, im zweiten Fall auf den 2,5ten Teil ab. Es muß also ein zweiter Mechanismus hinzukommen, der den Energieaustausch beschleunigt. Als solchen hat man die elektrische Wechselwirkung der Dipolmoleküle anzunehmen, die mit Zunahme der Konzentration, also Verkleinerung des mittleren Abstandes der Dipole, stark anwächst. Die

elektrische Kopplung der Dipolmoleküle bewirkt eine schnellere Einstellung des Gleichgewichts nach einer Störung durch ein angelegtes Feld, hat also eine Verkürzung der Relaxationszeit zur Folge. Der Einfluß ist in beiden untersuchten Fällen sehr stark; bereits die τ-Werte — also ohne Division durch η — (Fig. 3 und 5) zeigen mit wachsender Konzentration einen Abfall, obwohl die Viskosität der Lösung ansteigt. Trotzdem bleibt der Zusammenhang mit der Viskosität bestehen. Das zeigen Messungen der Relaxationszeit an reinen Dipolflüssigkeiten, bei denen die Zähigkeit durch Variation der Temperatur geändert wurde (16). Der Einfluß der elektrischen Wechselwirkung der Dipole kann also experimentell so beschrieben werden, daß die nach dem hydrodynamischen Modell berechnete Relaxationszeit $\tau = \frac{4\pi\eta^* a^3}{kT}$, die für verdünnte Lösungen gültig ist (mit einem $\eta^* = f \cdot \eta$), mit einem mit der der Konzentration variablen Reduktionsfaktor < 1 multipliziert wird.

Um den Einfluß der verschiedenen Zähigkeiten bei den einzelnen Konzentrationen zu eliminieren, betrachten wir jetzt nur noch die Größen $\tau/\eta = \tau^*$, die „reduzierten" Relaxationszeiten. Ihre Änderung mit der Konzentration hängt also mit der Wechselwirkung der Dipole zusammen.

Man wird nun erwarten, daß infolge des weit größeren Momentes des Nitrobenzolmoleküls verglichen mit dem des Chlorbenzols eine stärkere Kopplung und damit ein stärkerer Abfall der Relaxationszeit auftritt. Ein Blick auf die Fig. 6 und 7, wo τ^* von Nitrobenzol und Chlorbenzol als Funktion der Konzentration aufgetragen ist, bestätigt diese Vermutung. Während bei Nitrobenzol die Relaxationszeit im Verhältnis 1 : 0,107 absinkt, sinkt sie beim Chlorbenzol nur im Verhältnis 1 : 0,400. Man sieht qualitativ ohne weiteres die Zunahme der Kopplung bei wachsender Konzentration.

Im folgenden sei der Verlauf der τ^*-Kurven im einzelnen besprochen. Wie schon erwähnt, ist der Verlauf bei kleinen Konzentrationen nicht genauer bekannt. Trotzdem kann man aus den vorliegenden Daten schon einiges schließen. Bei sehr verdünnten Lösungen ist natürlich die elektrische Wechselwirkung der Dipole untereinander sehr klein, die Einstellung des Gleichgewichts erfolgt im wesentlichen über die Brownsche Drehbewegung. Deshalb ist τ^* zunächst unabhängig von der Konzentration nahezu konstant. Dann setzt bei einigen Molprozent die Abnahme von τ^*, die wir als Zunahme der Wechselwirkung deuten, sehr stark ein und hat bei Chlorbenzol schon bei etwa 30 Molprozent fast ihren Grenzwert erreicht. Beim Nitrobenzol ist dieser Verlauf nicht so ausgeprägt. Zwar verläuft auch hier die Kurve im Anfang ziemlich steil, doch fällt sie dann auch weiter immer noch relativ stark ab. Vielleicht hängt dieses Verhalten damit zusammen, daß beim Nitrobenzolmolekül die Momente wegen der NO_2-Gruppe weiter außen lokalisiert sind als beim Chlorbenzolmolekül, so daß sie bei hohen Konzentrationen, wo die Moleküle nahe beieinanderliegen, stärkere Effekte hervorrufen können. Man kann vielleicht hier auch schon von sterischen Rotationsbehinderungen sprechen, die bei hohen Konzentrationen beim Nitrobenzol wirksamer sein müßten als beim Chlorbenzol.

Leider gibt es bis jetzt aber noch keine Theorie, die es erlaubte, aus den experimentell ermittelten Reduktionsfaktoren die Kopplungsenergien explizit über den ganzen Konzentrationsbereich auszurechnen, und man muß sich einstweilen mit diesem grob qualitativen Bild begnügen.

Für eine theoretische Abschätzung der Wechselwirkung in konzentrierten Lösungen und reinen Dipolflüssigkeiten liegt ein Ansatz in der schon erwähnten Theorie von Debye vor, die von der Rotationsbehinderung ausgeht.

Debye (2) macht für die potentielle Energie, mit der das Molekül an eine durch die Wirkungen der Nachbardipole bestimmte momentane Vorzugsrichtung gebunden ist, den Ansatz $-E\cos\vartheta$. Dieser Ansatz wird in die Differentialgleichung eingeführt, die die Verteilungsfunktion der Dipolmoleküle über die verschiedenen Raumrichtungen beschreibt. Eine Lösung dieser Differentialgleichung ist möglich für zwei Grenzfälle, nämlich für den Fall, daß der Energieaustausch nur über die Brownsche Drehbewegung geht, wo also die Größe $y = E/kT$ sehr klein gegen 1 ist, und für den Fall, wo $E \gg kT$, also y sehr groß gegen 1 ist, also für den Fall sehr kleiner oder sehr großer Wechselwirkung. Hier interessiert uns nur der zweite Fall. Liegt große Wechselwirkung vor, so ergibt die Theorie folgendes:

1. Der Orientierungsanteil der Molekularpolarisation P_{or}, berechnet für die reine Dipolflüssigkeit verglichen mit dem aus dem Gaswert gemessenen P_g wird um den Faktor $R_p(y)$ herabgesetzt ($y = E/kT$), also $P_{or} = P_g \cdot R_p(y)$, oder ausgeschrieben

$$\left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} - \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}\right)\frac{M}{\varrho} = \frac{4\pi}{3} N \frac{\mu^2}{3kT} R_p(y) .$$

2. Die Relaxationszeit in der reinen Flüssigkeit τ_{fl}^* ist gegenüber der in der verdünnten Lösung gemessenen $\tau_{Lös}^*$ um den Faktor $R_r(y)$ vermindert
$$\tau_{fl}^* = \tau_{Lös}^* R_r(y)$$
3. $R_p(y)$ ist gleich $R_r(y)$.
4. Der Reduktionsfaktor $R(y)$ ist eine Funktion von y von der Gestalt
$$R(y) = 1 - L^2(y),$$
wobei $L(y)$ die Langevin-Funktion bedeutet:
$$L(y) = \operatorname{cotg} y - 1/y.$$

Im Grenzfall sehr großer Werte von y nimmt $R(y)$ den Wert $2/y$ an. Wenden wir nun die Theorie auf die erhaltenen Ergebnisse an, so läßt sich dieses in der folgenden Tabelle darstellen.

Tabelle III

	$P_{\infty r}$	P_g	τ_{fl}	$\tau_{Lös}$	η_{fl}	$\eta_{lös}$	$R_p(y)$	$R_r(y)$	y_p	y_r
Nitrobenzol	61,6	321,7	$3{,}92 \cdot 10^{-12}$	$12{,}0 \cdot 10^{-12}$	$0{,}600 \cdot 10^{-2}$	$1{,}835 \cdot 10^{-2}$	0,192	0,107	9,9	17,9
Chlorbenzol	30,5	50,5	$6{,}28 \cdot 10^{-12}$	$12{,}6 \cdot 10^{-12}$	$0{,}600 \cdot 10^{-2}$	$0{,}747 \cdot 10^{-2}$	0,401	0,598	2,6	4,45

Wie man sieht, stimmen die Werte von y_r und y_p keineswegs gut zusammen wie es eigentlich nach 3. der Fall sein sollte. Nun ist das nicht zu sehr zu verwundern; denn einmal ist die Bedingung $y \gg kT$ durchaus nicht erfüllt, man befindet sich noch in dem Gebiet, wo sowohl die Brownsche Bewegung wie die elektrische Wechselwirkung zur Einstellung des Gleichgewichts beitragen, zweitens wird man aber auch bei dem relativ einfachen Ansatz, den die Theorie macht, keine quantitative Übereinstimmung erwarten dürfen. Immerhin kann man aber doch annehmen, daß die von der Theorie berechneten Werte von y der Größenordnung nach richtig sind.

Die Arbeit wurde auf Anregung von Herrn Prof. Debye im Kaiser Wilhelm-Institut für Physik in Berlin-Dahlem ausgeführt. Für sein förderndes Interesse und für die großzügige Bereitstellung der apparativen Hilfsmittel möchte ich ihm meinen herzlichen Dank aussprechen. Gleichfalls gilt mein Dank Herrn Dr. L. Bewilogua und Herrn Dr. E. Fischer für mannigfache Ratschläge und klärende Diskussionen.

Literaturverzeichnis

1) Vgl. hierzu und zu dem Folgenden P. Debye, Polare Molekeln, Leipzig 1929, und P. Debye, Physik. Zeitschr. **35**, 101, 1934.
2) P. Debye, Physik. Zeitschr. **36**, 100, 1935; P. Debye und W. Ramm, Ann. d. Phys. **28**, 28, 1937.
3) A. E. van Arkel und J. L. Snoek, Physik. Zeitschr. **33**, 662, 1932; **35**, 187, 1934.
4) F. Harms, Ann. d. Phys. **5**, 565, 1901. Hieran schließt sich eine große Zahl von Arbeiten, z. B. J. Malsch, Ann. d. Phys. (5) **19**, 707, 1934; G. Martin, Physik. Zeitschr. **37**, 665, 1936 usw. Viele Literatur bei Fischer (6).
5) E. Fischer und F. C. Frank, Physik. Zeitschrift **40**, 345, 1939.
6) E. Fischer, Physik. Zeitschr. **40**, 645, 1939.
7) O. Zinke, Hochfrequenz-Meßtechnik. S. Hirzel, Leipzig 1938.
8) W. Dahms, Ann. d. Phys. (5) **26**, 177, 1936.
9) M. Wien, Physik. Zeitschr. **37**, 869, 1936.
10) M. v. Ardenne, O. Groos und G. Otterbein, Physik. Zeitschr. **37**, 533, 1936.
11) J. Henrion und W. van der Grinten, Extrait des C. R., 2me Congrès National des Sciences. Bruxelles 1935.
12) E. Keutner, Ann. d. Phys. (5) **27**, 29, 1936.
13) R. de L. Kronig, Physica **5**, 65, 1938; R. de L. Kronig, Physik. Zeitschr. **39**, 823, 1938.
14) Debye, Polare Molekeln. S. 96.
15) F. Perrin, Journ. Physique (7) **5**, 497, 1934; E. Fischer, Physik. Zeitschr. **39**, 845, 1938.
16) W. Jackson, Proc. Roy. Soc. **153**, 158, 1936.

Berlin-Dahlem, Kaiser Wilhelm-Institut für Physik.

(Eingegangen 25. März 1941.)

Sekundärelektronenemission von Kupfereinkristallen bei kleinen Primärgeschwindigkeiten

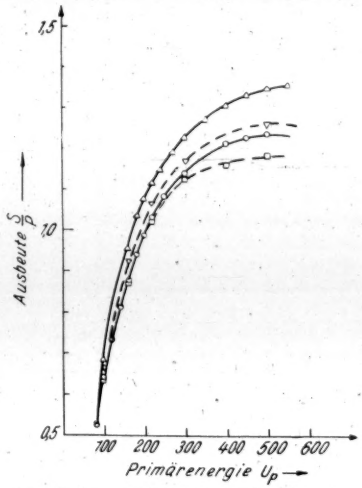
(Vorläufige Mitteilung)

Von G. Bekow

Bei Untersuchung der Feldemission von Einkristallen[1]) zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Elektronenemission von der Lage der emittierenden Fläche zum Kristallgitter, die offenbar mit der unterschiedlichen Austrittsarbeit der einzelnen Kristallebenen[2]) in Zusammenhang steht. Da andererseits die Abhängigkeit der Ausbeute an Sekundärelektronen von der Kristallstruktur durch eine ganze Reihe von Arbeiten bestätigt ist[3]), liegt die Vermutung nahe, daß auch die Sekundärelektronenemission von der Orientierung der emittierenden Fläche im Kristallgitter beeinflußt wird. Bei der Untersuchung von Kupfereinkristallen konnte in der Tat ein Unterschied in der Sekundärelektronenausbeute für verschiedene Schnittebenen festgestellt werden.

Die Messungen wurden nach dem üblichen Verfahren mit einer ähnlichen Apparatur durchgeführt, wie sie von A. Becker[4]) beschrieben wird. Der fein ausgeblendete Primärstrahl trifft senkrecht auf einen Auffänger, der von einem Faraday-Käfig umgeben ist. Bei positiver Spannung des Käfigs gegenüber dem Auffänger wurden Primär- und Sekundärstrom für Primärgeschwindigkeiten zwischen 80 und 550 Volt galvanometrisch gemessen.

Die Ströme waren von der Größenordnung 10^{-8} bis 10^{-9} A. Sie wurden elektrometrisch gemessen. Als Meßinstrumente dienten Quadrantelektrometer mit einer Empfindlichkeit von 2,2 bzw. $1{,}0 \cdot 10^{-3}$ $\frac{\text{Volt}}{\text{mm}}$[5]) entsprechend einer Stromempfindlichkeit von 2,2 bzw. $2{,}0 \cdot 10^{-10}$ $\frac{\text{Amp.}}{\text{mm}}$. Der Auffänger war aus einer Kupferplatte, die mosaikartig aus etwa zentimetergroßen Kupfereinkristallen bestand, so herausgeschnitten, daß die emittierende Fläche mehrere verschieden orientierte Kristallschnittebenen enthielt[6]). Zum Vergleich war seitlich in gleicher Ebene ein Stück polykristallines Kupfer daran befestigt. Eine geeignete Anordnung ermöglichte es, durch einfaches Drehen des Auffängers mittels eines Schliffs die verschiedenen Oberflächen bei völlig gleichen Bedingungen unmittelbar nacheinander zu untersuchen, zumal auch bereits die vorbereitenden Arbeiten



Sekundärelektronenausbeute S/P von Kupfer in Abhängigkeit von der Primärgeschwindigkeit U_p. Kurve 1–3 (△ ▽ □): Einkristallflächen; Kurve 4 (○): Polykristalline Fläche.

– Polieren, Ätzen und Ausheizen – für alle Flächen gleichmäßig ausgeführt wurden. Diese Anordnung hat überdies den Vorteil, durch Zickzackbeobachtungen die inneren Verhältnisse im Entladungsraum ständig überwachen und somit die Bedingungen durch eine Meßreihe hindurch konstant halten zu können. Da insbesondere höchstes Vakuum unerläßlich ist, ließen sich so etwaige, durch Vakuumschwankungen bedingte Fehler sofort feststellen und ausschalten. Die damit erzielte Meßgenauigkeit betrug durchschnittlich 2–3 Promille.

Das Ergebnis wird durch Tabelle I zusammengefaßt und ist in der Figur graphisch dargestellt. Die Kurven geben die Sekundärelektronenausbeute $\frac{S}{P}$ in Abhängigkeit von der Primärenergie U_p wieder. Sie wurden in der Weise erhalten, daß nacheinander alle Werte für das gleiche U_p bestimmt wurden, jeweils durch abwechselnde Messung auf einen von diesen als Kontrollwert – meist auf den der

1) E. H. Müller, Zeitschr. f. Phys. **106**, 541, 1937; **108**, 668, 1938.
2) C. E. Mendenhall und F. C. de Voe, Phys. Rev. **51**, 346, 1937.
3) Unter anderen H. E. Farnsworth, Phys. Rev. **34**, 679, 1929; S. R. Rao, Proc. Roy. Soc. London **128**, 57, 1930.
4) A. Becker, Ann. d. Phys. (4) **78**, 228, 1925.
5) Bei 2 m Skalenabstand.
6) Wir danken Herrn Prof. Gerdien, Siemens & Halske AG., Forschungslabor. I verbindlichst für die freundliche Überlassung einer geeigneten *Cu*-Probe.

Tabelle I

Primärenergie in Volt	Verschiedene Einkristallflächen			Polykristallfläche
U_p	Kurve 1	Kurve 2	Kurve 3	Kurve 4
80	—	—	—	0,526
100	0,688	0,668	0,638	0,643
120	—	—	—	0,736
140	—	—	—	0,813
160	0,957	0,923	0,873	0,881
180	1,040	—	—	0,939
200	1,078	—	—	0,988
220	1,118	1,064	1,025	1,032
240	1,149	—	—	—
250	—	—	—	1,083
270	1,191	—	—	—
300	1,225	1,170	1,123	1,138
350	1,270	—	—	—
400	1,305	1,208	1,158	1,212
450	1,327	—	—	1,222
500	1,345	1,259	1,182	1,233
550	1,352	—	—	—

(100)-Ebene bezogen. Dabei zeigt sich, daß die Sekundärelektronenausbeute eines Kupfereinkristalles deutlich von der einer polykristallinen Kupferoberfläche verschieden ist, wie das schon mehrfach, auch für andere Materialien, festgestellt wurde.

Bemerkenswert jedoch ist, daß auch jede Einkristallfläche eine besondere Kurve liefert. Die höchsten Ausbeutewerte wurden von der (100)-Ebene (Kurve 1) erhalten. Zwei Schnittebenen schief zum Kristallgitter ergaben die Kurven 2 und 3; zwischen diesen beiden liegen die Werte der polykristallinen Oberfläche (Kurve 4).

Wegen Einberufung zum Heeresdienst wurde die Arbeit vorzeitig abgebrochen; eine ausführliche Veröffentlichung mit näherer Ausarbeitung und der eingehenden Diskussion der Versuche erscheint zu gegebener Zeit an anderer Stelle.

Ich danke Herrn Prof. Dr. G. Hoffmann für wertvolle Ratschläge und für sein stetes Interesse. Auch Herrn Dr. F. H. Müller gilt mein Dank.

Leipzig, Physikalisches Institut der Universität, 10. April 1941.

(Eingegangen 10. Mai 1941)

BESPRECHUNGEN

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder vom Verlag angezeigten Bücher sind in allen deutschen Buchhandlungen zu erhalten

W. Büttner, Die Entropie. Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen. DIN A 5. V und 131 S. Mit 86 Abb. Berlin 1939. VDI-Verlag GmbH. RM 9,— brosch. (für VDI-Mitgl. RM 8,10).

Erfahrungsgemäß macht aus dem Gesamtinhalt der Thermodynamik der Begriff und die Anwendung der Entropie dem Studierenden oft die meisten Schwierigkeiten. Wohl mit aus diesem Grunde hat der Verfasser der Entropie das vorliegende kleine Lehrbuch gewidmet, das nach der Darlegung der physikalischen Grundlagen in seinem zweiten größeren Teil die technischen Anwendungen der Entropie mit Hilfe des Wärme- und des Mollierdiagramms behandelt. Für Dampfmaschinen, Verbrennungsmotoren, Verdichter und Kältemaschinen wird hier die vielseitige Verwendbarkeit und der außerordentliche Nutzen der Entropiediagramme unter Hinzuziehung von numerischen Beispielen aus praktischen Betriebsfällen beleuchtet. Aus der Lektüre dieses zweiten Teiles wird auch der Studierende der Physik an Hand des dargebotenen reichen Materials die technische Bedeutung der Entropie würdigen lernen und einen guten Einblick in die Berechnungsmethoden der technischen Thermodynamik gewinnen. Dagegen wird er hinsichtlich der allgemeinen Grundlagen in mancher Hinsicht zu anderen ausführlicheren Darstellungen greifen müssen, da in dem ersten allgemeinen Teil manches doch recht knapp und oft auch didaktisch nicht sehr glücklich dargestellt ist. Eine Überarbeitung dieses Teiles für eine eventuelle Neuauflage dürfte dem Ganzen wohl nützen. L. Schiller

First report on viscosity and plasticity. Prepared by the Committee for the study of viscosity of the academy of sciences at Amsterdam. 2. Ausg. VIII u. 273 S. Verhandlungen der kgl. Niederl. Akademie der Wissenschaften, Abteilung Naturkunde. 1. Sect., Teil 15, Nr. 3 (1939). Geh. 11.— fl., geb. 12.— fl.

Das Komitee, das den vorliegenden Bericht herausgegeben hat, hat es sich zum Ziel gesetzt, das in stetem starken Anwachsen begriffene Gebiet der Zähigkeit und Plastizität nach allen Seiten zu durchforschen und zu durchleuchten. Diese Allseitigkeit bezieht sich auf gründliche theoretische Fundierung, Klärung der noch oft verwaschenen Begriffe, Sichtung und kritische Prüfung des Versuchsmaterials und der Versuchsmethoden, Verknüpfung der in Physik, Chemie, Technologie und Biologie gewonnenen Tatsachen und interessierenden Fragen.

Zu diesem großen Aufgabenkreis bringt der vorliegende erste Band in Gestalt von Aufsätzen verschiedener aktiv auf diesem Gebiet tätiger Forscher bereits wesentliche Beiträge. Er wird eröffnet mit einer ausführlichen Darlegung der mechanisch-phänomenologischen Grundlagen des Komplexes von J. M. Burgers, die Modelle der Verbindung von elastischen und zähen Elementen bringt, unter anderem auch eine ausführliche Behandlung des Prandtlschen Modells für Hysteresis und Relaxation. Der Artikel ist auch eine reiche Fundquelle für ausländische Literatur. Ein zweiter Artikel von J. M. Burgers bringt Bemerkungen zur experimentellen Untersuchung der Fließeigenschaften und anschließend ausführliche Begriffsbestimmungen. Diesen beiden allgemeineren Aufsätzen folgen solche besonderen Charakters. Zunächst ein solcher von Bungenberg de Jong über Zähigkeitsmessungen und ihre besonderen Gesichtspunkte und Bedeutung in der Kolloidchemie. Über die experimentelle Untersuchung und die Nomenklatur bei technischen Stoffen folgt ein Aufsatz von van Nieuwenburg. Er behandelt insbesondere Mineralöle, Kautschuk, Kunstharze, Farben, Ton, Glas u. a. Das plastische Verhalten kristalliner Stoffe wird durch W. G. Burgers und J. M. Burgers dargestellt, wobei auch neuere Theorien eine entsprechende Würdigung erfahren. Schließlich ist noch ein Abschnitt von H. J. Jordan dem elastisch-plastischen Verhalten der lebenden Zelle und der Muskeln gewidmet, sowie ihren mechanischen Modellen.

Dieser Überblick über den reichen Inhalt des Bandes zeigt, daß er zu jedem Programmpunkt hinsichtlich der Methoden, Tatsachen und phänomenologischen Grundtheorien schon sehr wesentliche Beiträge liefert, deren Nutzbarmachung noch durch ein erfreulich sorgfältiges Namen- und Sachregister unterstützt wird. L. Schiller

Johannes Kepler, Weltharmonik. Übersetzt und eingeleitet von Max Caspar. München — Berlin 1939. R. Oldenbourg. 56 und 403 Seiten. Gebunden RM 28,—.

Eines der ungewöhnlichsten und großartigsten Werke aus der Geschichte der Wissenschaft liegt nun zum erstenmal vollständig in deutscher Sprache vor. Kepler sah die Harmonik der Welt als die Krönung seines wissenschaftlichen Lebenswerkes an. Die Nachwelt hat im allgemeinen anders geurteilt. Zwar enthält das Buch Keplers drittes Gesetz der Planetenbewegung. Aber dieses Gesetz ist nicht, wie die beiden ersten Gesetze in der „Neuen Astronomie", die Hauptsache und das einzige wirkliche Ziel des Buches, sondern es bedeutet nur eine — wenn auch vielleicht die krönende — Einzelheit in einem Gebäude von Behauptungen, die mit Ausnahme dieses einen Gesetzes nicht in unser wissenschaftliches Weltbild eingegangen sind.

Die Grundlage des Gedankenaufbaues ist die Überzeugung, daß überall in der äußeren Welt wie in der menschlichen Seele Gesetze der Harmonie gelten. Von den fünf Büchern, in die das Werk zerfällt, sind die beiden ersten die mathematischen Inhalts. Von ihren Untersuchungen ausgehend, betrachtet Kepler als harmonische Verhältnisse zweier Größen diejenigen, die gleich sind dem Verhältnis des Kreisbogens eines mit Zirkel und Lineal konstruierbaren Vielecks zum ganzen Kreisumfang. Dieser Definition liegt die Überzeugung zugrunde, daß nur die konstruierbaren Vieleckseiten „wißbar" sind, d. h. eigentliche mathematische Existenz haben. Das dritte Buch unternimmt es, die Lehre von den musikalischen Harmonien auf diesem Weg ausführlich zu begründen und so die Bezeichnung der genannten Verhältnisse als „harmonisch" zu rechtfertigen. Das vierte Buch beruht auf der Astrologie. Es deutet die Einflüsse der Gestirnstellungen auf Charakter und Schicksal als ein sympathisches Erregtwerden der auf Harmonie empfindlichen Seele durch die — wiederum im vorher definierten Sinne — harmonischen Winkel, welche die Gestirne, von der Erde aus gesehen, zuzeiten miteinander bilden. Das fünfte Buch schließlich befaßt sich mit dem Bau des Planetensystems und sucht nachzuweisen, daß die Planetenbahnen selbst nach objektiven harmonischen Gesetzen angeordnet sind und durchlaufen werden. Kepler geht dabei aus von der Ansicht seiner Erstlingsschrift „Mysterium Cosmographicum", nach der die relativen Abstände der Planetenbahnen von der Sonne bestimmt sind durch die Bedingung, daß die fünf Zwischenräume zwischen den „Sphären", auf denen die sechs Planeten laufen, Platz bieten sollen für je einen der fünf platonischen Körper, und zwar so, daß ihm jeweils die innere Sphäre einbeschrieben, die äußere umbeschrieben sei. Die Abweichungen der empirischen Bahnen von dieser Theorie, auf die schon Tycho Brahe hingewiesen hatte, sucht Kepler nun zu begründen durch die zusätzliche Bedingung, daß die Winkelgeschwindigkeiten der Planetenumläufe miteinander harmonische Intervalle bilden. Im Zusammenhang dieser Untersuchung tritt das dritte Gesetz auf. Darüber hinausgehend gibt Kepler aber die Intervalle der einzelnen Bahnen mit ihrem musikalischen Namen an und drückt mit enthusiastischen Worten seine Überzeugung aus, in dieser Sphärenmusik den göttlichen Schöpfungsplan des Planetensystems erkannt zu haben.

Ist es erstaunlich, daß die moderne Naturwissenschaft mit diesem Werk nichts anzufangen wußte? Es sei erlaubt, die Hauptpunkte, an denen die Kritik sich aufdrängt, zu besprechen. Die von der analytischen Geometrie ausgehende Arithmetisierung der Geometrie hat die grundsätzliche Sonderstellung der konstruierbaren Figuren aufgehoben. Diese Entwicklung sieht Kepler freilich selbst kommen und bekämpft sie als ein Mißverstehen des Wesens der Geometrie. Seine Ansicht über die Geometrie hat eine Analogie zur Ansicht der modernen Intuitionisten über die Arithmetik. Aber selbst wenn wir diesen Streit unentschieden lassen, bleibt die Konstruktion des 17-Ecks durch Gauß eine Schwierigkeit, da das dieser Figur entsprechende Verhältnis von Schwingungszahlen gewiß kein harmonisches Intervall gibt. Wieweit im übrigen Keplers musikalische Deduktionen stichhaltig sind, vermag der Referent leider nicht nachzuprüfen. Allgemeine Ablehnung hat Keplers Glaube an astrologische Einwirkungen gefunden (der durch seine gelegentliche Kritik der astrologischen Wahrsagepraxis nicht grundsätzlich erschüttert wird). Hierauf könnte allerdings von Keplers Standpunkt aus erwidert werden, daß diese Ablehnung fast durchweg nicht auf empirischer Nachprüfung, sondern auf einer vorgefaßten prinzipiellen Überzeugung von der Unvereinbarkeit der Astrologie mit dem astronomischen Weltbild beruht. Auf der empirischen Ebene ist dagegen das fünfte Buch anzufechten. Die Entdeckung der Planetoiden und der transsaturnischen Planeten entzieht der Verwendung der Platonischen Körper

die Unterlage. Angesichts der durch die allgemeine Gravitation bewirkten gegenseitigen Störung der Planetenbewegungen erscheinen die harmonischen Intervalle ihrer Geschwindigkeiten als ephemere Zufälligkeiten.

Wichtiger als alle Einzeleinwände aber war für die spätere Beurteilung der Gedanken Keplers ihr Gegensatz in der Grundgesinnung gegen zwei Hauptmotive der modernen Wissenschaft, das mechanische Weltbild und die positivistische Skepsis. Eben dieser Gegensatz aber ist das Schöne an Keplers Buch. Man kann Kepler nicht lesen, ohne berührt zu werden durch die Großartigkeit seines Entwurfs, durch seine tiefe Überzeugung von der Verwandtschaft der materiellen mit der geistig-seelischen Welt, durch den Wagemut, mit dem er die Konsequenzen seiner Überzeugung in jeder Naturerscheinung aufsucht, und durch die Begeisterung, zu der ihn der Erfolg seines Wagens fortreißt. Wollen wir aber ihm folgen, so müssen wir nicht bloß Gemütsbewegungen, sondern die Wahrheit suchen. Erlaubt das geschärfte Gewissen des modernen Naturforschers, in Keplers Grundansicht nicht nur poetische Gleichnisse, sondern Wahrheit zu vermuten?

Kepler sieht den Weltbau auf Harmonien gegründet. In der Harmonie vereinen sich zwei Elemente: die mathematische Einfachheit einer Relation und ihre Bedeutung für den Menschen, die nicht in der Verstandessphäre begründet ist. Von diesen beiden Elementen ist das erste in der heutigen exakten Naturwissenschaft noch ebenso wichtig wie für Kepler. Die gesamte neuzeitliche Physik von Newton bis zur Quantentheorie hätte nicht entstehen können, wenn die Physiker sich bei der Ordnung der unendlichen Vielfalt der Erfahrungen nicht hätten von der Überzeugung leiten lassen, daß die Naturgesetze letzten Endes mathematisch einfach seien. Daß wir heute nicht mehr nach geometrisch konstruierbaren Figuren, sondern nach einfachen Differentialgleichungen oder algebraischen Relationen suchen, folgt aus der Weiterentwicklung unserer Begriffe von mathematischer Einfachheit (die sich selbst stark unter naturwissenschaftlichem Einfluß vollzog) und gestattet uns, das Richtige in Keplers Prinzip von dem Zeitgebundenen in der Ausführung deutlicher zu unterscheiden. Daß sich im übrigen diese Erwartung, die Naturgesetze seien mathematisch einfach, an der Erfahrung immer wieder bewährt, läßt sich aus keinem Prinzip der Forschungsmethode (wie etwa der „Denkökonomie") a priori ableiten; es handelt sich hier um eine tatsächliche Eigenschaft der wirklichen Natur, vor der auch der heutige Forscher nur mit demselben gläubigen Erstaunen stehen kann wie einst Kepler.

Wie verhalten wir uns nun zum zweiten Element der Harmonie: ihrer menschlichen Bedeutung? Kein Forscher, dem eine Entdeckung gelingt, oder der die Entdeckung eines anderen nachdenkt und versteht, wird dabei ohne menschliche Bewegung bleiben können. Aber dieses Erlebnis ist kein Teil der lehrbaren Wissenschaft; es ist ein persönlicher Besitz, gleichsam ein Geschenk an den Einzelnen, das sich von Person zu Person abwandelt, nach Maßgabe nicht des sachlichen Inhalts der Erkenntnis, sondern der menschlichen Beschaffenheit des Erkennenden. So stellt auch Kepler die mathematisch-naturwissenschaftliche Seite seiner Überzeugungen ebenso zur sachlichen Diskussion wie wir unsere Naturgesetze. Daß aber ein mathematisches Gesetz in der Natur für ihn eine Harmonie im höchsten Sinne des Wortes bedeutet, das ist nicht etwa noch eine zusätzliche wissenschaftliche These, sondern es ist der Ausdruck des Seelenzustandes, aus dem sein Trieb zum Forschen erwächst. Wie das menschliche Auge Licht einer bestimmten Wellenlänge nur als rot empfinden kann, so erlebt Kepler das mathematische Naturgesetz notwendigerweise als harmonisch. Die ihm eigene Verbindung einer ursprünglichen künstlerischen Anlage mit tiefem und leidenschaftlichem religiösem Bewußtsein und schöpferischer mathematischer Einsicht und Phantasie belehrt ihn über die Bedeutung der Mathematik für die menschliche Seele und den Geist. Mathematische Relationen als die einfachsten und leersten Formen, deren das Bewußtsein fähig ist, liegen gleichermaßen auf dem Grund aller Verstandestätigkeit wie aller Gesetze der künstlerischen Gestalt und eines großen Teiles der religiösen Symbolik. Wenn Kepler nun in der Natur Mathematik antrifft, begegnet er in ihr gleichsam sich selbst wieder. Da aber die Natur nicht von Menschen gemacht ist, kann es nicht der empirische Mensch selbst sein, der ihm hier begegnet, sondern nur die Wirklichkeit, die gleichzeitig Ursprung des Menschen und der Natur ist: Kepler erlebt, daß er als Mensch, der nach Gottes Bilde gemacht ist, in der Naturerkenntnis Gottes Schöpfungsgedanken nachzudenken vermag.

Es ist einleuchtend, daß die Erlebnisse, die sich in diesem Gedankengang verdichten, nicht in die communis opinio der neuzeitlichen Naturforschung eingehen konnten. Sie sachgemäß zu kritisieren vermag aber nur, wer sich nicht bloß in der naturwissenschaftlichen, sondern ebenso in der inneren, menschlichen Sphäre mit Kepler auf derselben Stufe auseinandersetzen kann. Eine solche Kritik würde auch die weiter oben berührten Einzelfragen in neue Beleuchtung rücken, sie würde Keplers Werk erst eigentlich fruchtbar machen. Hier müssen wir uns bescheiden, auf diesen Weg nur hinzuweisen.

Dagegen kann die Besprechung nicht abgeschlossen werden ohne einen Dank an den Übersetzer und den Verlag. Max Caspars Übersetzung ist eine Leistung von allerhöchstem Verdienst. Sie erfüllt alle Ansprüche an Verständlichkeit und Genauigkeit; Einleitung und Anmerkungen erläutern Keplers Werk so, daß jede sachliche Frage beantwortet wird und die tieferen Dinge ebenso verständnisvoll wie vorsichtig dargeboten werden. Den schön gedruckten und ausgestatteten Band in die Hand zu nehmen, ist ein Genuß.

C. F. v. Weizsäcker

H. Kopfermann, Kernmomente. (Physik und Chemie und ihre Anwendungen in Einzeldarstellungen, Band IV.) XVI und 270 Seiten. 117 Abbildungen. Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig 1940. Geheftet RM 19,60, gebunden RM 21,60.

Dem seit Jahren für den Kernphysiker immer fühlbarer gewordenen Mangel an einer Zusammenfassung der Methoden, Ergebnisse und theoretischen Grundlagen der Kernmomentenforschung ist mit dem hier besprochenen Buch glücklich abgeholfen worden. Kopfermann, selbst Fachmann auf diesem Gebiete, gibt in klarer und sachlicher Darstellung, die durch gute und reichhaltige Abbildungen unterstützt wird, einen ausführlichen Überblick über den heutigen Stand dieses Zweiges der Kernphysik.

Der Verfasser beginnt mit den Wechselwirkungen zwischen Elektronenhülle und Atomkern und bringt zunächst die theoretischen Grundlagen des ältesten Teils der Kernmomentenforschung, der Hyperfeinstrukturuntersuchungen von Spektrallinien. Auf die eingehende Behandlung des magnetischen Kernmomentes folgt die des erst vor wenigen Jahren von Schüler und Schmidt entdeckten elektrischen Quadrupolmomentes der Kerne und des Isotopieverschiebungseffektes. An diese theoretischen Einführungen schließt sich im zweiten Kapitel die Darstellung der experimentellen Anordnungen und der Ergebnisse der optischen Hyperfeinstrukturforschung an. So werden hier die Untersuchungen über die verschiedenen Kernmomente und den Isotopieeffekt ausführlich behandelt. In einer Tabelle sind die aus den Hyperfeinstrukturen erhaltenen Kernmomente noch einmal zusammengestellt. Der Wert dieser Tabelle dürfte ein noch höherer sein, wenn der Verfasser ein eigenes Literaturverzeichnis hierfür gegeben und nicht auf das veraltete von Bethe und Bacher verwiesen hätte, da bei der Hälfte der angeführten Kerne die Werte verbessert oder neu hinzugekommen sind. Ein neues Kapitel bringt die in den letzten Jahren für die Bestimmung von Kernmomenten bedeutungsvoll gewordenen Atomstrahlablenkungsversuche. Auch hier versteht es der Verfasser, die Theorie und die verschiedenen Methoden klar und anschaulich zu schildern. Ein Anhang enthält die Versuche zur Ermittlung des magnetischen Momentes freier Neutronen. Während alle bisher geschilderten Untersuchungen an Atomen durchgeführt wurden, folgen nun solche an zweiatomigen Molekülen mit gleichen Kernen in ihrer Bedeutung für die Kernmomentenforschung. Hier findet man unter anderem die Beziehungen zwischen Intensitätswechsel in Bandenspektren und Kernmomenten, Raman-Effekt und Kernstatistik, und die Molekülstrahlablenkungsversuche. Im letzten Kapitel gibt der Verfasser die sich aus den bisherigen Resultaten ergebenden Folgerungen über den Kernbau und damit die Ausblicke, die sich aus der Erforschung der Kernmomente auf unsere Vorstellungen vom Atomkern eröffnen. Hier findet man die Theorie des β-Zerfalls in ihrem Zusammenhang mit den Kernmomenten von Proton und Neutron, das Deuteron, Kernkräfte, Kernzustände, Kernmodelle, alles von der Kernmomentenforschung her beleuchtet, schließlich den β-Zerfall in seiner Beziehung zu den mechanischen Kernmomenten. Am Schluß dieses nicht nur für den Kernphysiker wertvollen Werkes befinden sich außer ausführlichem Literaturverzeichnis, Autoren- und Sachregister noch einige Tabellen über Relativitätskorrektionen und relative Intensitäten der Hyperfeinstrukturkomponenten für die verschiedenen Kernspins, die hier zu finden besonders derjenige, der sich mit Hyperfeinstrukturuntersuchungen beschäftigt, sehr begrüßen wird, zumal der Verfasser die letzten Tabellen über das Originalschrifttum hinaus für $I = 9/2$ ergänzt hat.

H. Gollnow

A. Mittasch, Julius Robert Mayers Stellung zur Chemie. Mit Anhang: Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur von J. R. Mayer. Originalgetreuer Abdruck aus „Annalen der Chemie und Pharmacie", Bd. XLII, 233—240 (1842). 8°, 31 Seiten. Berlin 1940. Verlag Chemie G. m. b. H. RM 1.20 Brosch.

Die vorliegende Schrift erinnert uns daran, daß bald 100 Jahre seit Mayers Entdeckung des Energiesatzes verstrichen sind. Sie zeigt mit vielen wörtlichen Zitaten und genauen Quellenangaben die innige Verknüpfung, die Mayers Gedankengänge mit chemischen Tatsachen und Theorien aufweisen. So sucht Mayer z. B. ständig das Verhältnis der verschiedenen Energieformen zueinander durch zwei der Chemie entnommene Ausdrücke verständlich zu machen: „Äquivalenz" und „Umwandlung".

Auch ein äußerer Umstand verbindet Mayers Lebenswerk besonders mit der Chemie, die Tatsache nämlich, daß seine erste Abhandlung über das Energieprinzip mit der ersten Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalents 1842 in Liebigs Annalen der Chemie und Pharmazie erschienen ist. Daß diese fundamentale Arbeit der vorliegenden Schrift als Anhang in originalgetreuem Abdruck beigefügt ist, wird gerade auch für den Physiker einen besonderen Reiz bilden.

L. Schiller

E. Rickmann und H. Heyda, Elektroakustisches Taschenbuch. Herausgegeben von dem Elektrotechnischen Laboratorium Georg Neumann & Co., Berlin SO 16. Gr.-DIN A 6, 253 Seiten, mit zahlreichen Abbildungen, Diagrammen, Tafeln und Tabellen. 2. Auflage. Berlin 1940. Vertrieb: VDI-Verlag. RM 5.— in biegsamem Leinenband.

Das in den Fachkreisen der gesamten Elektroakustik bereits bestens bekannte Taschenbuch liegt nunmehr in zweiter Auflage vor. Wie sehr das Buch einem als dringend empfundenen Bedürfnis entspricht und welch großer Beliebtheit es sich bereits erfreute, ist schon daraus zu ermessen, daß die erste Auflage bereits in sehr kurzer Zeit vergriffen war.

Die neue Auflage ist gegenüber der ersten in einigen wesentlichen Teilen erweitert, ergänzt und unter Berücksichtigung der neueren Erkenntnisse überarbeitet. Dafür wurde Unwesentliches gestrichen und der Gesamtinhalt straffer auf das eigentliche Thema des Buches ausgerichtet.

In übersichtlicher Form behandelt das Buch neben den Spezialgebieten der Elektroakustik auch alle wesentlichen hierfür noch in Frage kommenden Hilfsgebiete. Jeweils in besonderen Abschnitten sind Stoffkunde, Mechanik, Wärmelehre, Licht, Beleuchtung, alle in Frage kommenden Teilgebiete der Elektrizitätslehre und die allgemeine Schwingungslehre behandelt. Außerdem sind im ersten Abschnitt eine vergleichende Zusammenstellung der Maße, Gewichte und technischen Einheiten sowie mehrere Funktionentafeln und eine Übersicht über die wichtigsten Formeln zur Flächen- und Körperberechnung gegeben.

Die übrigen Abschnitte sind in umfassender Weise den verschiedenen Gebieten der Akustik gewidmet. Ausgehend von der physikalischen und physiologischen Akustik, den Fragen der Raum- und Bauakustik und der Schallübertragung werden die verschiedenen Schallaufnahmeverfahren, die Aufnahme- und Aufzeichnungsgeräte, die Einrichtungen zur Schallwiedergabe sowie die damit zusammenhängenden Fragen und Gegenstände wie

Dynamik, Klirrfaktor, Anpassung oder auch Dauermagnete eingehend behandelt. Weiterhin werden Wesen und Wirkungsweise der Verstärker und ihrer Einrichtungen, der elektrischen Filter und der Übertragungseinrichtungen übersichtlich dargestellt und diese Ausführungen durch Angaben für die Berechnung von Drosseln, Transformatoren, Dämpfungsgliedern usw. ergänzt.

Besondere Abschnitte enthalten eine Zusammenstellung der wichtigsten akustischen Meß- und Prüfverfahren sowie eine Übersicht über die verschiedenen Anwendungsgebiete des Schalls. Zum Schlusse sind dem Buch noch eine Anzahl von Draht- und Wicklungstabellen, nomographischen Tafeln zur Berechnung der Eigenschaften elektrischer Kreise, eine Anleitung zur Berechnung von Zahnrädern und eine Zusammenstellung der wichtigsten Formeln beigefügt.

Das Büchlein bietet demnach in ausgesprochen handlichem Taschenbuchformat eine erstaunliche Fülle brauchbaren Stoffes in übersichtlicher Anordnung auf denkbar kleinstem Raum. Es ist daher nicht nur für den Praktiker, den mit Akustik befaßten Ingenieur, ein unentbehrlicher Begleiter, sondern stellt auch für den auf dem Gebiet der Akustik oder auch den angrenzenden Gebieten in Entwicklung und Forschung tätigen Wissenschaftler ein wertvolles und begrüßenswertes Hilfsmittel dar.

Karl Schoeps

J. Zenneck, **Georg Simon Ohm.** Deutsches Museum. Abhandlungen und Berichte. 11. Jahrgang 1939. Heft 2. DIN A 5. II u. 25 S. Mit 8 Bild. Berlin 1939. VDI-Verlag GmbH. RM —,90 brosch.

Den größeren, an dieser Stelle bereits gewürdigten Erinnerungsschriften an die 150. Wiederkehr des Geburtstages von Ohm (geboren 16. März 1789 in Erlangen) folgt hier eine kleinere aus den Abhandlungen des Deutschen Museums, die Wiedergabe einer Festrede von J. Zenneck. In knapper, aber lebendiger Weise werden das Leben Ohms, seine Werke und seine Persönlichkeit hinsichtlich seines Lehrertums, seiner äußeren Erscheinung und seiner Bemühungen um Anerkennung geschildert. Interessant sind besonders die Bemerkungen darüber, warum das Ohmsche Gesetz und sein Entdecker erst verhältnismäßig spät Anerkennung gefunden hat. Dem wohlfeilen Schriftchen darf weiteste Verbreitung gewünscht werden.

L. Schiller

Vorlesungsverzeichnis für das Sommersemester 1941

Technische Hochschule Aachen. **Fucks**: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 3; Physikalisches Praktikum, 4 und 2, für Vorgeschrittene, 4; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl.; Physikalisches Seminar, 2 g; Theoretische Physik IV: Theorie der Wärme, 3, Rechnerische Übungen, 1; Sondervorlesungen aus theoretischer Physik, 2; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Theoretisch-physikalisches Seminar, 2 g. — **Kirschbaum**: Photographie I, 1, Übungen, 3. — **Nacken**: Strahlenkunde, 1. —

Universität Basel. **Hagenbach**: Experimentalphysik I, 6; Physikalisches Praktikum für Vorgerücktere, tägl., für Anfänger, 8, für Mediziner und Ärzte (mit Wehrli und Miescher), 2; Physikalisches Kolloquium (mit Kuhn, Zickendraht, Wehrli, Miescher und Fierz), 14tägig, 2 g. — **Matthies**: Vektor- und Tensorrechnung, 3, Übungen, 1; Theorie der elektromagnetischen Felder, 4, Übungen, 1. — **Zickendraht**: Einführung in die Elektroakustik, 2; Elektroakustische Messungen, mit Exkursionen, 3; Farbenlehre, 1 g. — **Zehnder**: Die tiefsten Grundlagen der Physik und Chemie, 1; Geschichte der Physik, 1. — **Bürki**: Photographisch-chemisches Praktikum, 3. — **Wehrli**: Die Bausteine der Atome, 1; Seminar über neuere Probleme der Physik (mit Miescher und Fierz), 14tägig, 2 g. — **Miescher**: Höhere Optik I, 2. — **Fierz**: Aus der Theorie der festen Körper, 2; Theoretisch-physikalisches Proseminar, 1. —

Universität Berlin. **Gerthsen**: Experimentalphysik für Naturwissenschaftler: Elektrizität und Optik, 5, für Mediziner, 3; Physikalisches Anfängerpraktikum, 7, für Mediziner, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten (mit Kneser), tägl.; Besprechung neuerer physikalischer Arbeiten (mit Kneser und Meixner), 2 g. — **Kneser**: Experimentalphysik für Fortgeschrittene: Mechanik, Akustik, Wärme, 2; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, 8. — **Landt**: Experimentalphysik I: Mechanik, Wärmelehre, Akustik, für Mediziner, 3; Physikalisches Meßpraktikum für Mediziner, 2; Selbständige physikalische Arbeiten, tägl. — **Meixner**: Theoretische Physik IV: Theorie des Lichtes, 3; Grundlagen der Atomtheorie (mit Lichtbildern), 3, Übungen, 1. — **Kohler**: Feldphysik I, 4, Übungen, 1; Ausgewählte Kapitel aus der Physik der Röntgenstrahlen, 2. — **Henning**: Theoretische Mechanik, 4. — **Gehrcke**: Physik und Erkenntnistheorie, 1. — **Kolhörster**: Radioaktivität des Bodens, der Gewässer und der Luft, 1; Probleme der Höhenstrahlung, 1; Besprechungen von Arbeiten über Höhenstrahlen, 2 g; Arbeiten über Höhenstrahlen, tägl. — **Wirtz**: Theorie des flüssigen Zustandes, 1. — **Mattauch**: Experimentelle Methoden der Kernphysik, 2; Kolloquium über Arbeiten auf dem Gebiet der Kernphysik und Radiochemie (mit Erbacher, Flügge, Philipp und Hahn), 1½ g; Anleitung zu selbständigen Arbeiten in der Kernphysik, tägl. — **Seifert**: Kristallographie für Chemiker und Physiker: Kristallgeometrie, Kristallphysik, Kristallchemie, mit Übungen, 3. — **Menzer**: Kristallsymmetrie, 1. — **Justi**: Methoden der Vakuumtechnik, 1; Demonstrationen über Vakuumtechnik, 1; Metallphysikalische Forschungsarbeiten, tägl. außer Sonnabend. — **Kiebitz**: Ausgewählte Kapitel aus der Theorie der elektrischen Wellen, 1 g. — **Skaupy**: Stoffkunde, ausgewählte Kapitel, 1. — **Schüler**: Spektroskopisches zur Atomphysik, 2; Spektroskopisches Praktikum, 4; Atomphysikalische Forschungsarbeiten, tägl. — **Schreiber**: Wissenschaftliche Photographie, 1. — **v. Auwers**: Magnetische

Eigenschaften der Materie, 1. — **Verleger:** Optische Instrumente, 2. — **Hinderer:** Verstärkertechnik und Oszillographie, 1. — **Schulze:** Technik der optischen Strahlenmessung einschließlich Photometrie, 1. — **Flügge:** Die elementaren Bausteine der Materie, 1. — **v. Weizsäcker:** Einführungsseminar in die Atomphysik (mit Flügge), 2. — **v. Laue:** Seminar für mathematische Physik (mit Dinghas und Meixner), 2; Physikalisches Kolloquium, 2 *g*. — **Schumann:** Physikalisches Praktikum, nach Vereinbarung und 6; Wehrphysikalische Arbeiten, tägl.; Sprengstoffphysikalische und theoretisch-ballistische Forschungsarbeiten, tägl. — **Philipp:** Anleitung zu selbständigen Arbeiten in der Kernphysik, 2. — **Schütt:** Physikalische Experimentierübungen mit schulgerechten Hilfsmitteln (mit Brandt und Moeller), 2 *g*. — **Zistler:** Praktische Wetterkunde II, 2; Meteorologisches und geophysikalisches Kolloquium (mit Defant, Bartels und Ertel), 2; Allgemeine Meteorologie II, für Wehrmachtsmeteorologen, 4, Übungen, 2. — **Knoch:** Allgemeine Klimakunde, 2; Anleitung zu meteorologisch-klimatologischen Arbeiten, nach Vereinbarung *g*. — **Bartels:** Besprechung geophysikalischer Arbeiten, mit Übungen (mit Rössiger und Fanselau), 2 *g*; Anleitung zu selbständigen geophysikalischen Arbeiten, tägl.; Physik der höchsten Atmosphärenschichten, für Wehrmachtsmeteorologen, 2. — **Kähler:** Die optischen Erscheinungen der Atmosphäre, 1; Luftelektrizität und meteorologische Optik, 1; Übungen aus dem Gebiet der Meteorologie, atmosphärischen Elektrizität und Strahlung, 2, für Fortgeschrittene, tägl. — **Stumpff:** Statistische Methoden und Ausgleichsrechnung, 2. — **Fanselau:** Erdmagnetismus, 2. — **Rössiger:** Anleitung zu Forschungsarbeiten, tägl. — **Ertel:** Anleitung zu theoretisch-meteorologischen Arbeiten, 2 *g*; Theoretische Physik II, mit besonderer Berücksichtigung der theoretischen Meteorologie, für Wehrmachtsmeteorologen, 4, Übungen, 3. — **Robitzsch:** Aerologie, 2; Leitung eigener Arbeiten, tägl. außer Sonnabend, *g*; Meteorologisches Praktikum (mit Kähler), 3. — **Defant:** Allgemeine Meereskunde II, 2; Wissenschaftliche Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl. außer Sonnabend. — **Wüst:** Die Ozeane I: Morphologie, Ozeanographie und Klimatologie, 2; Anleitung zu ozeanographischen Arbeiten, nach Vereinbarung *g*. — **Möller:** Geographisch-hydrographische Betrachtung ausgewählter Erdräume, 2; Praktische hydrographische Übungen, 7 *g*. — **ten Bruggencate:** Anleitung zu selbständigen Arbeiten auf dem Gebiet der Sonnenphysik, tägl.; Übungen und Besprechungen über ausgewählte Themen der Astronomie, nur für Fortgeschrittene (mit Guthnick und Biermann), 2 *g*. —

Technische Hochschule Berlin. **Geiger:** Experimentalphysik I, 4; Physikalische Übungen für Fortgeschrittene (mit Haxel), 8; Anleitung zu Forschungsarbeiten, Diplom- und Doktorarbeiten (mit Haxel), tägl.; Theorie der Elektrizität, 3; Übungen in theoretischer Physik, 2; Physikalisches Kolloquium (mit Haxel), 2 *g*. — **Westphal:** Physikalische Übungen II, 4, Einführung, 2, III, 4, Einführung, 2, für Maschinenwesen und Wirtschaftswissenschaften, 4. — **Haxel:** Mechanik für Physiker I, 2, Übungen, 2; Wellen- und Korpuskularstrahlen, 2. — **Kömmnick:** Ausgewählte Kapitel der technischen Physik, nach Vereinbarung; Physikalisch-technisches Praktikum, nach Vereinbarung; Seminar für Forschungsergebnisse auf dem Gebiete der technischen Physik und Ballistik (Studienarbeiten), nach Vereinbarung; Ballistik I: Experimentelle Methoden, nach Vereinbarung; Physikalisch-technische Forschungsarbeiten (Diplom- und Doktorarbeiten), tägl. — **Picht:** Atomphysik I: Theorien der Statistik, klassische Atomphysik, 2, Übungen, nach Vereinbarung; Physikalische Optik: Interferenz, Beugung, Metalloptik, Kristalloptik, Übungen, nach Vereinbarung; Beugungstheorie optischer Systeme, $1^1/_2$. — **Hertz:** Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten, tägl. — **Ramsauer:** Physikalisch-technische Arbeiten, nach Vereinbarung. — **Schachenmeier:** Ausgewählte Probleme der theoretischen Physik, 1; Allgemeine Meßtechnik, 2. — **Nikuradse:** Grundlagen der Elektronen- und Ionenlehre, 2. — **Gehrts:** Wirkungsweise, Bau und Berechnung von Elektronenröhren I: Verstärker, 2; Fernsehen I, 2. — **Knoll:** Selbständige wissenschaftliche Arbeiten aus dem Gebiete der Röhrentechnik, nach Vereinbarung. — **Mierdel:** Selbständige wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiete der Gasentladungen, nach Vereinbarung; Laboratoriumsübungen für Röhrentechnik (mit Knoll), nach Vereinbarung. — **Cauer:** Theorie der linearen Wechselstromschaltungen I: Netzwerke, 2, Übungen, nach Vereinbarung. — **Frerichs:** Besprechung neuerer physikalischer Experimente, 1. — **Weidert:** Geometrische Optik II, 2, Übungen, 2; Seminar für optisches Rechnen II, 2; Theorie und Wirkungsweise der optischen Instrumente II, 2, Übungen, 4; Optische Laboratoriumsarbeiten für Fortgeschrittene, tägl.; Lichtkundliche Übungen: Lichttechnik, optische Instrumente, Photographie (mit Arndt und Stenger), 2; Optisches Kolloquium (mit Picht), $1^1/_2$. —

Universität Bern. **Greinacher:** Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Optik, 5, Ergänzungen, 1; Physikalische Optik, 1; Repetitorium der Physik, 1; Physikalisches Kolloquium (mit Mercier), nach Vereinbarung; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, für Vorgerücktere, 3 halbe Tage; Physikalisches Vollpraktikum, tägl. — **Mercier:** Theoretische Physik I: Vektoranalysis und Potentialtheorie, 2, III: Optik, 3, VII: Hydrodynamik, 3, Übungen, 1. — **Koestler:** Graphische Methoden des Naturwissenschaftlers, 1; Mechanik: Statik und Dynamik des starren Körpers, 2; Elektrische Wechselströme, 1; Elektrische Schwingungen, Ausgewählte Kapitel, 2. — **König:** Das Messen als naturwissenschaftliches und philosophisches Problem, 1; Systematisches Entwickeln von elektrischen Schaltungen, 1. —

Universität Breslau. **Schaefer:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 4; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 3, für Mediziner, 14tägig, 4, für Fortgeschrittene (mit Steubing), tägl. — **Steubing:** Photographie für Fortgeschrittene, 1, Übungen, 3; Allgemeine Meteorologie, 1; Übungen in der Ausführung physikalischer Experimente im Schulunterricht (mit Kliefoth), 1; Seminaristisch-didaktische Übungen (mit Kliefoth), 2. — **Fues:** Theoretische Physik, 5, Übungen, 2; Seminar über neuere Fragen, 2. — **Jüttner:** Die klassische Physik in relativistischer Form, 2. — **Kliefoth:** Schulphysik I: Ausgewählte Abschnitte aus Mechanik, Akustik, Wärme, 2; Experimentelle Einführung in die elektrischen Schwingungen, 2. —

Technische Hochschule Breslau. Bergmann: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 4, Besprechung, 1; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Schuster), 3, für Maschinenbauer und Elektrotechniker, 2; Physikalisches Kolloquium (mit Fues, Schaefer und Steubing), 2. — **Fues:** Theoretische Physik, 5, Übungen, 2; Seminar über neuere Fragen der theoretischen Physik, 2. — **Schuster:** Elektroakustik I, 2. — **Kliefoth:** Schulphysik I: Ausgewählte Abschnitte aus Mechanik, Akustik, Wärme, 2, Übungen, 1; Experimentelle Einführung in die elektrischen Schwingungen, nach Vereinbarung. — **Nikuradse:** Flugmechanik, 3. — **Mohr:** Ergänzungen zur Flugmechanik: Tragflügel- und Propellertheorie, 2. —

Technische Hochschule Braunschweig. Cario: Experimentalphysik I: Elektrizität und Optik, 3; Höhere Experimentalphysik I, 2; Physikalisches Praktikum I, 8, II, 8, für Bauingenieure, 2; Physikalisches Seminar (mit Stille), 14tägig, 2; Physikalisches Kolloquium (mit Diesselhorst, Lübcke und Stille), 14tägig, 2 *g*; Naturwissenschaftliches Kolloquium (mit Friese und Jaretzky), 2 *g*; Selbständige Arbeiten auf dem Gebiete der Physik, tägl. — **Diesselhorst:** Historische Entwicklung der Elektrizitätslehre, 1 *g*. — **Bergwitz:** Radioaktivität I, 1, Übungen, 2; Physik der Röntgenstrahlen, 1. — **Lübcke:** Ausgewählte Abschnitte der technischen Physik, 14tägig, 1½ *g*; Technische Akustik I, 14tägig, 2, Übungen, 14tägig, 2; Physikalisch-technische Arbeiten im Laboratorium, tägl. — **Stille:** Theoretische Physik I, Elektrizität und Magnetismus: Maxwellsche Theorie, 3, Übungen, 1; Einführung in die Quantenphysik III, 1. — **N. N.:** Einführung in die Theorie der optischen Instrumente, 14tägig, 2; Technische Mechanik für Geodäten, 2, Übungen, 2. — **Hübner:** Einführung in die Spektralanalyse II, 1. — **Grundmann:** Einführung in die Meteorologie, 1; Meteorologische Meßtechnik II, 2, Übungen, 1; Aerologische Meßtechnik, einschließlich meteorologische Optik und Akustik, 2. — **Koppe:** Grundlagen der Luftfahrzeugführung, 1 *g*; Luftfahrzeugführung I: Luftmeereskunde, 2, Übungen, 3, III: Selbststeuerung, 2, Übungen, 2; Luftfahrtmeßtechnik I: Flug und Landung im Nebel, 2, II: Messungen an Luftfahrzeugen, Übungen, 3; Flugwetterkunde, 1, Übungen, 3; Arbeiten in Luftfahrzeugführung für Fortgeschrittene, 4; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiete der Luftfahrtmeßtechnik und Flugmeteorologie, ganztägig; Luftfahrt-Kolloquium, 2 *g*. — **Schlichting:** Strömungslehre und Flugmechanik I: Allgemeine Strömungslehre und Tragflügel- und Luftschraubentheorie, 5, Übungen, 2; Aerodynamisches Praktikum II, 3; Entwerfen von Flugzeugen I (mit Winter), 4; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiete der Aerodynamik, ganztägig. —

Bergakademie Clausthal. Valentiner: Experimentalphysik I, 3; Physikalisches Praktikum, 2; Röntgenkunde, 2, Übungen, 2. — **Jung:** Geophysik I, 2; Angewandte Geophysik, 2. —

Technische Hochschule Danzig. Kossel: Experimentalphysik: Wärme, Elektrizität, 3, Ergänzungen, 2; Kleines physikalisches Praktikum, 4 und 3; Elektronentheorie der Festkörper, 1; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene I (mit Buchwald), 8, II, 12, für Elektrotechniker, 4; Besprechung laufender physikalischer Arbeiten, 3; Physikalisches Kolloquium (mit Buchwald), 1 *g*; Handfertigkeitspraktikum, 4. — **Buchwald:** Thermodynamik und kinetische Gastheorie, 4, Übungen, 14tägig, 2 *g*; Arbeiten für Fortgeschrittene, 12. — **Fromm:** Mechanik II: Einführung in die Festigkeitslehre, 1, Übungen, 1, VI: Elemente der Elastizitätslehre, 2, Übungen, 1; Höhere Festigkeitslehre (ausgewählte Kapitel), 2; Festigkeitstheoretische Studienarbeiten, 2; Baustoffkunde, 1, Übungen, 1; Studienarbeiten in Werkstoff- und Festigkeitsprüfung, 4. Größere selbständige Arbeiten, 12; Seminar für Mechanik (mit Ackermann, Cranz, Kleinwächter, Martyrer, Waltking), 14tägig, 2 *g*. — **Waltking:** Mechanik I: Einführung in die Statik und Kinetik, 3, Übungen, 2, VII: Dynamik, 1; Ausgewählte Kapitel aus der höheren Dynamik, 2, Übungen, 2; Statik der Tragwerke I, 3, Übungen, 2. — **N. N.:** Photographisches Praktikum, 4. — **Hass:** Praktisches Rechnen in Naturwissenschaft und Technik, 1; Diffusion und Reaktionen in Festkörpern, 1. —

Technische Hochschule Dresden. Stuart: Experimentalphysik I: Mechanik, Wärme, Akustik, 4; Physikalisches Praktikum I, 6 und 3, II, 9; Selbständige Arbeiten im Physikalischen Institut, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Falkenhagen und Wiedmann), 14tägig, 2 *g*. — **Falkenhagen:** Elektrizität und Magnetismus, 3, Übungen, 1; Größere physikalische Arbeiten, tägl. — **Wiedmann:** Spektrum und Atombau, 1; Röntgentechnische und spektroskopische Übungen, 3 und 6; Selbständige Arbeiten im Röntgen-Laboratorium, tägl. — **Teichmann:** Ergebnisse der höheren Physik, 14tägig, 2; Spezielle Probleme aus dem Gebiet der Quantenphysik, 14tägig, 1 *g*. — **Schulze:** Ergänzungen zur Experimentalphysik, 1; Ergänzungen zum physikalischen Praktikum, 1; Atomphysik, 2; Physikalisches Seminar, 1 *g*. — **Frieser:** Tonphotographie und Tonfilmtechnik, 1; Grundlagen der Farbenphotographie und Kinematographie, 1, Übungen, 3; Photographisches Praktikum I, für Anfänger, 4, II, für Fortgeschrittene, 4; Selbständige Arbeiten im Photographischen Institut, 2, 4, 8, halb- und ganztägig; Kolloquium über neuere Arbeiten auf dem Gebiete der Photographie, 1 *g*. — **Klughardt:** Einführung in die praktische Optik I: Abbildungslehre, Strahlenbegrenzung, photometrische Grundlagen, Lichtbeugung, 2, IV: Die Photometer und die Spektralapparate, 2. — **Joachim:** Film- und Kinotechnik, 1 *g*. — **Goldschmidt:** Wetter und Wetterkunde, 14tägig, 3 *g*. — **Günther:** Geschichte des mathematisch-physikalischen Unterrichts: Geschichte der Schulmathematik und Schulphysik, 2 *g*; Praktisch-pädagogisches Seminar: Praktische Pädagogik, Mathematisch-physikalische Unterrichtslehre, 2 *g*. —

Universität Erlangen. Hilsch: Ausgewählte Kapitel der Optik und Atomphysik, mit Experimenten, 2; Physikalische Übungen für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, 8, für Mediziner, 2; Wissenschaftliche Arbeiten, 40; Physikalisches Seminar (mit Hönl), 14tägig, 2 *g*; Kolloquium über neuere physikalische und physikalisch-chemische Arbeiten (mit Hönl, Lange und Rump), 1 *g*. — **Rump:** Strahlenkunde für Mediziner, 1. — **Hönl:** Thermodynamik und statische Theorie der Materie, 3 *g*, Übungen, 1 *g*; Theorie der Wärmestrahlung, 14tägig, 1 *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, 40. —

Bergakademie Freiberg. **Aeckerlein:** Physik, 4. — **Meisser:** Angewandte Geophysik, I, 1, Übungen, 2 und 3; Geophysikalische Meßübungen auswärts, nach Vereinbarung *g*; Die geophysikalische Vermessung von Großdeutschland, 14-tägig, 1 *g*. —

Universität Freiburg i. Br. **Steinke:** Experimentalphysik I: Mechanik, Wärme, Wellenlehre, 4; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner, 2; Handfertigkeitsübungen, 4; Anleitung zu selbständigen Arbeiten (mit Plötze), tägl. *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Mecke), 14tägig, 1 *g*. — **Mecke:** Theoretische Physik III: Elektrizität und Magnetismus, 4, Übungen und Seminar, 2 *g*; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. *g*. — **Plötze:** Höhere Experimentalphysik: Atomistik der Medizin, 3; Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, 6. — **Sommermeyer:** Die kinetische Theorie der Materie, 1. — **Loßnitzer:** Einführung in die Meteorologie und Klimatologie, 14tägig, 2. —

Universität Freiburg (Schweiz). **Dessauer:** Experimentalphysik II, 5, Übungen und Repetitorium, 1, Ergänzungen, 1; Kolloquium für Physik, nach Vereinbarung; Einführung in die Wellenmechanik II (Fortsetzung), 1; Physikalisches Praktikum für Mediziner, 4, für Pharmazeuten, Sekundarlehrer und Mittelschullehrer, 4; Anfängerpraktikum für Naturwissenschaftler, 12; Physikalisches Praktikum und Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Brasey:** Höhere Optik, 2; Physikalische Fragen, für Anfänger, nach Vereinbarung. — **Pfluger:** Einführung in die theoretische Physik II, mit Übungen, 4; Einführung in die Quantentheorie II, 2. —

Universität Gießen. **N. N.:** Experimentalphysik: Elektrizität und Optik, für Mediziner und Veterinärmediziner, 3; Physikalisches Praktikum (mit Cermak und Fünfer), 6 und 3; Anleitung zu selbständigen Arbeiten (mit Cermak), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Bechert, Cermak und Fünfer), 14tägig, 2. — **Cermak:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene: Mechanische und elektrische Schwingungen, 2; Handfertigkeitspraktikum, 2; Seminar für Lehramtskandidaten, nach Vereinbarung; Meteorologie: Physikalische Grundlagen. 1. — **Bechert:** Theoretische Physik I: Mechanik, 3, Übungen, 2. — **Fünfer:** Fluoreszenz und Phosphoreszenz, 1. — **Lihotzky:** Strahlenoptik im Rahmen der Physik, 1 *g*. —

Universität Göttingen. **Pohl:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Becker), 2 *g*. — **Mollwo:** Experimentalphysik II: Mechanik, Akustik, Wärme, 3. — **Hanle:** Erläuterungen zum physikalischen Praktikum (mit Hellwege), 1 *g*; Physikalisches Praktikum (mit Hellwege), 9, für Mediziner, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten (mit Hellwege), tägl.; Wechselwirkung zwischen Licht und Materie, mit Vorführungen, nach Vereinbarung. — **Hellwege:** Spektroskopie, mit Vorführungen, 1. — **Becker:** Thermodynamik, mit Übungen, 4; Seminar zur theoretischen Physik, 2 *g*; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, nach Vereinbarung. — **Döring:** Spezielle Probleme der theoretischen Physik, 1. — **Bungers:** Potential und oszillierende Funktionen mit Anwendungen in der Geophysik, 2. — **N. N.:** Ausgwählte Kapitel der angewandten Elektrizität mit Experimenten, 2; Elektrophysikalisches Praktikum, 3; Seminar über angewandte Elektrizität, 1 *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Küstner:** Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiete der Röntgenphysik, tägl.; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten auf physikalisch-medizinischem Grenzgebiete, tägl. — **Prandtl:** Besprechung von Fragen der angewandten Mechanik (mit Betz, Schuler und Görtler), 2 *g*; Anleitung zu selbständigen Arbeiten auf dem Gebiete der Aerodynamik, tägl. — **Betz:** Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Schuler:** Mechanische Schwingungslehre, 4; Mechanik-Praktikum, 4; Seminar über Fragen der angewandten Mechanik, 2 *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiete der angewandten Mechanik, tägl. — **Angenheister:** Geophysik: a) Bewegungen der Erdrinde, b) Erdmagnetismus und seine Anwendungen, 2; Geophysikalisches Praktikum: Erdmagnetismus (mit Bungers), $3^1/_2$; Meteorologie II, 2, Übungen (mit Bungers), 1; Geophysikalisch-meteorologisches Kolloquium (mit Bungers), nach Vereinbarung *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten. — **Bungers:** Potential und oszillierende Funktionen mit Anwendungen in der Geophysik, 2. —

Universität Graz. **Rumpf:** Einführung in die Experimentalphysik I: Mechanik, Wärme, Optik, 3, Ergänzungen, 2; Physikalische Übungen I, 6; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Matossi), 44; Besprechung physikalischer Fragen (mit Matossi, Wessel und Székely), 1. — **Matossi:** Einführung in die Experimentalphysik II, 3; Physikalische Übungen II, 9; Elementarteilchen der Materie und der Strahlung, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar (mit Wessel und Borgnis), 2. — **Wessel:** Theorie der Wärme, 4, Übungen, 2; Mathematische Hilfsmittel der theoretischen Physik, 2; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, tägl. — **Székely:** Physikalisches Rechnen, 1. — **Letzmann:** Meteorologie, 2, Übungen, 1; Besprechungen, 1. —

Universität Greifswald. **Seeliger:** Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 5, für Mediziner, 4; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6; Praktikum für Fortgeschrittene (mit Reinkober), nach Vereinbarung; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl.; Kolloquium (mit Reinkober und Schmidt), 2 *g*. — **N. N.:** Theoretische Physik V: Statistische Theorien, 4, Übungen, 1; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Reinkober:** Die physikalischen Grundlagen der Lichttechnik I, nach Vereinbarung; Luftbildmessung, 1; Physikalische Maßeinheiten, 1; Seminaristische Übungen zur Physik, 2; Praktikum für Mediziner, 2; Physikalisches Handfertigkeitspraktikum, 3; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. —

Universität Halle. **Kast:** Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 3, Ergänzungen, 2; Die Physik des Fliegens, mit Experimenten, 1 *g*; Physikalisches Praktikum für Mediziner, 2; Physikalische Übungen für Naturwissenschaftler, 6; Seminar für Experimentalphysik, nach Vereinbarung, *g*; Anleitung zu selbständigen physikalischen

Arbeiten (mit Pose und Faessler), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Smekal), 14tägig, 2 g. — **Smekal:** Theoretische Physik: Optik, 4, Übungen, 1 g; Ramaneffekt und Molekülbau, 1; Seminar für theoretische Physik, nach Vereinbarung, g; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten, tägl. — **Pose:** Höhere Experimentalphysik, Atomphysik, 3; Physikalische Übungen für Fortgeschrittene, 6. — **Faessler:** Kristalle und Röntgenstrahlen: Röntgenspektroskopie und Kristallstrukturanalyse, 2. —

Universität Hamburg. **Koch:** Experimentalphysik: Wärme, Elektrizität, $2^1/_4$; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler (mit Goos, Meyer und Müller), 4, für Mediziner, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen (mit Tams, Goos und Meyer), tägl. — **Meyer:** Ergänzungen zur Experimentalphysik: Wärme, Elektrizität, 3/4; Physikalisches Proseminar (mit Knauer), 2. — **Goos:** Wirkungsweise und Gebrauch des Mikroskops, 1. — **Lenz:** Quantentheorie, mit Übungen, 4; Physikalisches Kolloquium (mit Harteck und Möller), 2. — **Jensen:** Quantentheorie des Atomkerns, 2; Besprechung neuerer kernphysikalischer Arbeiten (mit Harteck, Knauer und Groth), 1. — **Knauer:** Die neuesten Ergebnisse der Physik: Neutronen, Positronen, künstliche Atomumwandlung, mit Experimenten, 1. — **Müller:** Anleitung zur Ausführung von physikalischen Schulversuchen, 2. — **Möller:** Wärmelehre, mit Versuchen und Übungen, 3; Festigkeitslehre, mit Versuchen, 1; Physikalisch-technisches Kolloquium (mit Hagen), 2; Elektrotechnisches Praktikum (mit Döhler), 11; Selbständige Arbeiten Fortgeschrittener (mit Hagen und Döhler), tägl. — **Hagen:** Ausgewählte Themen aus der angewandten Elektrizitätslehre, 1, 1: — **N. N.:** Technische Hydromechanik, mit Versuchen, nach Vereinbarung. — **Tams:** Die geophysikalischen Grundlagen der Entwicklung des Erdantlitzes, 2; Seismische Übungen, 2; Seminar über die Physik der festen Erde, 2; Geophysikalisches Kolloquium (mit Raethjen, Kleinschmidt, Schulz, Kuhlbrodt, Errulat und Seilkopf), 14tägig, 2. — **Errulat:** Luftelektrizität, 1. — **Raethjen:** Aeromechanik der Atmosphäre, mit Übungen, 3; Meteorologisches Instrumentenpraktikum, 3; Besprechung meteorologischer Arbeiten und Probleme, 2. — **Kleinschmidt:** Meteorologische Instrumentenkunde, 2. — **Kuhlbrodt:** Anleitung zu praktischer klimatologischer Arbeit, nach Vereinbarung. — **Semmelhack:** Kolonial-Klimatologie: Tropisches Westafrika, mit Übungen, 1. —

Technische Hochschule Hannover. **Hase:** Experimentalphysik, 3; Physikalisches Praktikum, 4; Arbeiten im physikalischen Laboratorium für Fortgeschrittene, tägl.; Theoretische Mechanik, 3, Übungen, 1. — **Hinzpeter:** Physik für Tierärzte, mit Experimenten, 2. — **Breyer:** Geophysikalisches Kolloquium, 14tägig, nach Vereinbarung. —

Universität Heidelberg. **Becker:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 3; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner, 3; Selbständige physikalische und physikalisch-technische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Physikalisches Seminar (mit Wesch), 14tägig, 2; Physikalisches, physikalisch-chemisches, mathematisches Kolloquium (mit Fischbeck, Wegner, Wesch und Fleischmann), 14tägig, 2. — **Wesch:** Theorie der Optik, 3; Radiologie: Das freie Elektron, 2; Funktechnik: Die Röhren und ihre Anwendung, mit Experimenten, 1; Selbständige physikalische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend. — **Fleischmann:** Atomkerne I: Stabile Kerne, natürliche Radioaktivität, 1. — **Stehberger:** Physikalische Meßtechnik III: Elektrische und magnetische Meßmethoden, 1. — **Kuhn:** Kolloquium über naturwissenschaftlich-medizinische Arbeiten (mit Bothe), 14tägig, 1. — **Peppler:** Allgemeine Meteorologie, $1^1/_2$. —

Universität Innsbruck. **Lerch:** Physik I, 3, II, 2; Physikalisches Praktikum für Lehramtskandidaten (mit Tagger), 6, für Mediziner (mit Steinmaurer), 2; Wissenschaftliche Arbeiten für Vorgeschrittene (mit Steinmaurer), 10; Physikalisches Demonstrationspraktikum für Lehramtskandidaten, 2. — **March:** Theorie der Wärme, 4; Kernphysik, 1, Übungen, 2. — **Sonvico:** Einführung in die Starkstromtechnik, 2 g. — **Tagger:** Theorie und Praxis elektrischer Meßgeräte, 3. — **Steinmaurer:** Wärmelehre, 2; Die Elektronenröhre und ihre Anwendung, mit Übungen, 1. — **Oberguggenberger:** Astrophysik I: Die astrophysikalischen Forschungsmethoden, 4; Astrophotographie, mit Übungen, 2; Übungen an der Sternwarte, 6. — **Wagner:** Einführung in die Geophysik: Erdbebenkunde, Erdmagnetismus und Ozeanographie, 5; Wissenschaftliche Arbeiten Fortgeschrittener, 10; Besprechung wissenschaftlicher Arbeiten, 1. —

Universität Jena. **Kulenkampff:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärmelehre, Optik, 4, für Mediziner, 3; Physikalisches Praktikum für Mathematiker und Physiker (mit Wisshak), 6, für Chemiker und Pharmazeuten, 3, für Mediziner (mit Raether und Wisshak), 2, für Fortgeschrittene (mit Raether), 10; Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten (mit Hettner und Raether), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Kühl, Hettner und Goubau), 2. — **Hettner:** Theorie der Wärme, mit Übungen, 4; Atommechanik I, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar für Fortgeschrittene, 1; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, tägl. — **Wisshak:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene I: Mechanik, 2; Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Raether:** Die Brownsche Bewegung als Meßgrenze, 1. — **Goubau:** Technische Meßmethoden, $2^3/_4$; Technisch-physikalisches Praktikum, 3, Einführung, $^3/_4$; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Technisch-physikalisches Seminar, 1. — **Kühl:** Physiologische Optik, 4, Praktikum der optischen Untersuchungsmethoden, 4; Mikroskopisches Praktikum, 2; Leitung selbständiger Arbeiten, tägl. — **Rzymkowski:** Grundlagen des Films und Tonfilms, mit Übungen, 1. — **Siedentopf:** Dynamische Meteorologie, 1; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl.; Einführung in die Astrophysik, 2; Zeit- und Ortsbestimmung, mit Übungen, 3. — **Bucerius:** Himmelsmechanik, 2. — **Sieberg:** Theoretische Erdbebenkunde, 1; Erdbebenkundliches Praktikum, nach Vereinbarung; Erdbebenkundliches Kolloquium, nach Vereinbarung; Anleitung zu selbständigen erdbebenkundlichen Arbeiten. — **Müller:** Die Geophysik im Dienste des Krieges, 1; Einführung in die Instrumentenkunde der angewandten Geophysik (mit Martin), 2; Allgemeine geophysikalische Untersuchungsmethoden (mit Martin), 2.—

Universität Kiel. **Kopfermann:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 3; Zusatzvorlesung für Physiker und Naturwissenschaftler, 1; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4 oder tägl., für Fortgeschrittene, 4 oder tägl., für Mediziner, 2; Forschungsarbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Burkhardt), $1^1/_2$ *g*. — **Burkhardt:** Einführung der Methoden in die mathematische Physik II, 2, Übungen, 2. —

Universität Köln. **Kirchner:** Experimentalphysik: Mechanik, Elektrizität, 4, für Mediziner, 3; Physikalisches Praktikum (mit Hiedemann), 7, für Mediziner, 14tägig, 2, für Fortgeschrittene (mit Försterling und Malsch), 7; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar, 2 *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Försterling und Malsch), 2. — **Försterling:** Mechanik, 4; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl. — **Malsch:** Theorie und Technik der Wechselströme, 2; Technisch-physikalisches Praktikum, 7; Leitung selbständiger wissenschaftlicher Arbeiten, tägl.; Technisch-physikalisches Seminar, 1 *g*. — **Hiedemann:** Ultraschall, 1; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen, tägl. — **Berg:** Synoptische Meteorologie, 14tägig, 2.—

Universität Leipzig. **Hoffmann:** Experimentalphysik II: Elektrizität, Magnetismus, Licht, 5, für Mediziner, 3; Höhere Physik, Ergänzungen zur allgemeinen Experimentalphysik, 1; Physikalisches Praktikum, 3, 6 oder 9, für Veterinärmediziner, Zahnärzte und Pharmazeuten, 3, für Mediziner, 2, für Fortgeschrittene, 9; Selbständige physikalische Arbeiten, nach Vereinbarung; Seminar über die Arbeiten des Instituts, nach Vereinbarung *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Heisenberg), $1^1/_2$. — **Heisenberg:** Proseminar über elementare Physik, 2; Seminar über die Struktur der Materie (mit Hund), 2 *g*; Selbständige theoretisch-physikalische Arbeiten (mit Hund), nach Vereinbarung. **Hund:** Theoretische Physik IV: Optik, Übungen, 1. — **Schiller:** Elastizitäts- und Festigkeitslehre, 2; Strömungs- und wärmetechnisches Praktikum für Fortgeschrittene, 3, 6 oder 9; Selbständige Arbeiten aus der technischen Strömungs- und Wärmelehre, nach Vereinbarung; Besprechung neuerer Arbeiten aus Strömungs- und Wärmelehre, nach Vereinbarung. — **Karolus:** Elektrotechnik II: Wechselstrom, 2, Übungen, 3; Praktikum für Fortgeschrittene, 9; Selbständige Arbeiten aus der Elektrizitätslehre, nach Vereinbarung; Besprechung neuerer Arbeiten, nach Vereinbarung *g*. — **Döpel:** Korpuskular-Strahlen in Physik und Technik, 2; Kernphysikalisches Praktikum, 3; Praktikum für Fortgeschrittene, 9; Selbständige Arbeiten aus der Strahlungsphysik, nach Vereinbarung. — **Möbius:** Radioaktivität, 1, Physikalische Schulversuche (Praktikum), 3. — **Kaempf:** Repetitorium der Physik, 2. — **Weickmann:** Allgemeine Meteorologie II: Die Klimate der Erde, 2; Grundlagen und Methoden der kurzfristigen und langfristigen Wettervorhersage, 2; Arbeiten im Geophysikalischen Institut und im Observatorium, tägl.; Geophysikalisches Praktikum, 3 *g*; Geophysikalisches Kolloquium, 2 *g*. —

Universität Marburg. **Grüneisen:** Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 4, für Mediziner, 3; Physikalisches Kolloquium, 2 *g*; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Vogt), 6 und 3, für Mediziner (mit Hückel und Vogt), 2, für Fortgeschrittene (mit Vogt), 8, für Geübte: Leitung wissenschaftlicher Arbeiten (mit Vogt), tägl. — **Hückel:** Theorie der Wärme (Thermodynamik), 4, Übungen, 1; Seminar über Atomphysik, $1^1/_2$ *g*. —

Universität München. **Gerlach:** Experimentalphysik: Optik, Elektrizität, $3^3/_4$, für Mediziner, $2^1/_4$; Physikalische Übungen für Anfänger A, 4, B, 4, Ergänzungskurs C, 4, für Pharmazeuten, 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Rüchardt), tägl.; Übungen für Fortgeschrittene (mit Rüchardt), tägl.; Physikalisches Seminar (mit Rüchardt), $1^1/_2$; Demonstrationspraktikum für Mediziner, 2. — **Müller:** Optik, 4, Übungen, 2; Einführung in die Thermodynamik, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar und Kolloquium, 14tägig, nach Vereinbarung. — **Rüchardt:** Höhere Experimentalphysik mit Versuchen: Molekularphysik, $1^1/_2$. — **Auer:** Angewandte Physik: Grundlagen der Metallkunde, 1. — **Kappler:** Ausgewählte Abschnitte aus der Atomphysik, 2. — **Rollwagen:** Photometrie, 1. — **Schmauss:** Meteorologie II, 4, Ergänzungen, 1 *g*; Besprechungen für Fortgeschrittene, 14tägig, $1^1/_2$ *g*. — **Dingler:** Die Naturphilosophie des Mittelalters und der Neuzeit, 2; Einführung in die Methodenlehre und Logik der exakten Naturwissenschaften, 2; Besprechungsstunde für methodische und geschichtliche Probleme der Naturwissenschaften (freie Aussprache), 1 *g*. —

Technische Hochschule München. **Tomascheck:** Experimentalphysik I, 4; Ausgewählte Kapitel aus der Experimentalphysik, 1; Physikalisches Praktikum, 4 oder 8, für Fortgeschrittene, halbtägig; Wissenschaftliche physikalische Arbeiten (mit Deutschbein und Brauer), ganztägig. — **Frank:** Experimentalphysik II: Elektrizität II; Optik, 3; Angewandte Physik, einschließlich Elektrotechnik, 1, Übungen, 2; Physikalische Übungen für Landwirte, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten aus Physik, tägl. — **Meissner:** Technische Physik IV (ausgewählte Kapitel), 3; Technisch-physikalisches Praktikum, 4; Anleitung zur Ausführung wissenschaftlicher Arbeiten auf dem Gebiete der technischen Physik, halb- oder ganztägig. — **Deutschbein:** Atombau und Spektralgesetze, 2. — **Ammann:** Kinematographie II, 1. — **Brauer:** Röntgenspektroskopie, 1. —

Universität Münster. **Senftleben:** Experimentalphysik für Naturwissenschaftler: Mechanik, Akustik, Wärme, 5, für Mediziner, 3; Einführung in die Atomphysik, 2; Anwendungen der Physik in der Medizin (mit v. Calker), 1; Physikalisches Praktikum, 3 oder 6, für Mediziner, 2; Physikalisches Praktikum, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Kratzer), 2 *g*. — **Kratzer:** Mechanik, mit Übungen, 6; Ausgewählte Kapitel der Hydrodynamik, 3; Theoretisch-physikalisches Seminar, 2 *g*. — **Siemens:** Ausgewählte Kapitel aus der Elektrotechnik, 2. —

Universität Prag. **Gudden:** Physik: Elektrizität, Optik, Atomphysik, 3, III: Atomphysik, 2; Physikalische Übungen für Anfänger, 6, 2, 3, 1, für Fortgeschrittene, 15; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Glaser, Schlomka und Schaub), 2.— **Glaser:** Einführung in die theoretische Physik: Theorie der Wärme, 4; Elektromagnetische Licht-

theorie, 2 *g*; Seminar aus theoretischer Physik, 2 *g*; Übungen zur theoretischen Physik, 2 *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. *g*. — **Schlomka**: Gravitation, 2; Vektorrechnung, 2; Geophysikalisches Praktikum, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. *g*. — **Findeisen**: Meteorologische Meßmethoden, 2; Flugmeteorologie, 2. —

Technische Hochschule Prag. **Gudden**: Physik II: Elektrizitätslehre und Optik, 3, III: Atomphysik, 2; Physikalische Übungen: Anleitung zum Beobachten und Messen, 6 und 2, für Fortgeschrittene, 15; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Glaser), 1. — **Glaser**: Einführung in die theoretische Physik III: Wärmelehre, 4; Elektromagnetische Lichttheorie, 2; Seminar aus theoretischer Physik, 2; Übungen zur theoretischen Physik, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Lichtenecker**: Elektrizitätsdurchgang durch Gase, 1. — **Möller**: Thermodynamik der Gase, 1, Übungen, 1; Thermodynamik der Dämpfe, 2. — **Barth**: Übungen in den Forschungs- und Prüflaboratorien der Flugtechnischen Versuchsanstalt, 1, Übungen, 3. —

Universität Rostock. **Kunze**: Experimentalphysik II, 3; Teilgebiete der Physik, 1; Physikalische Übungen für Mediziner, 2, für Naturwissenschaftler, 4, für Chemiker, tägl.; Physikalisches Kolloquium, 14tägig, $1^1/_2$ *g*; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl. *g*. — **N. N.**: Theoretische Physik. — **Falckenberg**: Teilgebiete der Meteorologie, 1; Meteorologisches Praktikum für Fortgeschrittene, tägl., für Anfänger, 4. —

Technische Hochschule Stuttgart. **Schmidt**: Grundlagen der Physik I: Mechanik, Akustik, Wärmelehre, 3, Ergänzungen, 1; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 3 oder 6, für Fortgeschrittene (mit Lenz), 3 oder 6; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten (mit Lenz), tägl.; Seminar für experimentelle Physik (mit Lenz), 2 *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Dehlinger, Glocker, Lenz und Reiher), 1 *g*. — **Dehlinger**: Theoretische Physik: Optik, 4; Theoretikum, 2; Kristallphysik und Kristallchemie der Metalle, 2; Wissenschaftliche Arbeiten im 2. Physikalischen Institut (mit Kochendörfer). — **Kochendörfer**: Atomphysik III: Kernphysik, 2. — **Glocker**: Röntgenpraktikum für Fortgeschrittene, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten im Röntgenlaboratorium, tägl.; Materialprüfung mittels Röntgenstrahlen, 1, Übungen, 3. — **Luther**: Die biologische Wirkung der Röntgen- und Radiumstrahlung und ihre Anwendung in Forschung und Heilkunde, 1. — **Kramer**: Angewandte Optik, 3. — **N. N.**: Einführung in die Meteorologie. — **Reiher**: Technische Physik im Bauwesen: Wärmeschutz, Beleuchtung, Heizung und Lüftung, 1; Technisch-physikalische Meßmethoden II (mit Gösele und Schüle), 2, Übungen, 3; Technisch-physikalisches Sondergebiet: Wärme- und Kältetechnik (mit Schüle), 2, Übungen, 3; Technisch-physikalisches Seminar, Unterstufe (mit Gösele und Schüle), 14tägig, 2 *g*, Oberstufe, 14tägig, 2 *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten im Institut für Technische Physik (mit Gösele und Schüle), tägl. —

Universität Tübingen. **Back**: Experimentalphysik II: Elektrizität und Magnetismus, Optik, für Mediziner, 3, für Naturwissenschaftler, 4; Übersicht über die neueren Fragestellungen der Physik und ihre geschichtliche Entwicklung, 2; Physikalische Übungen für Mediziner, 2, für Naturwissenschaftler, 4, für Fortgeschrittene, 4 oder 8; Wissenschaftliche Untersuchungen, tägl.; Photographische Übungen (mit Bezler), 2 *g*; Praktikum für Hochfrequenztechnik und Elektroakustik (mit Briessen), 2 *g*. —

Universität Wien. **v. Schweidler**: Physik I für Mediziner, 3; Übungen in Schulversuchen, 6; Physikalisches Praktikum für Mediziner (mit Haschek), 2; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener (mit Seidl und Herzog), tägl. — **Lechner**: Hydro- und Aeromechanik (Ergänzung über Mechanik), 2. — **Stetter**: Mechanik, 3; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Schintlmeister), 6, für Vorgeschrittene, 10; Einführung in wissenschaftliche Arbeiten, tägl.; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl.; Besprechung neuerer Arbeiten, zugleich Seminar, 1. — **Kirsch**: Einführung in die Physik III, 4; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl.; Einführung in wissenschaftliche Arbeiten, tägl. — **Haschek**: Experimentalphysik I, 3, II, 3; Physikalisches Praktikum für Chemiker, tägl., für Anfänger, 6. — **Ortner**: Radioaktivität und Kernphysik, 3; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener im Radiuminstitut, tägl. — **Flamm**: Elektrodynamik und Elektronentheorie, 5; Seminar für theoretische Physik, 1; Proseminar für theoretische Physik, 1. — **Sexl**: Probleme der Kernphysik: Streuung und Zerfall, 2. — **Bauer**: Partielle Differentialgleichungen der Physik, 3; Physikalische Rechenübungen, 1; Wellenmechanik der Bandenspektren, 2; Ausgewählte Kapitel der Wehrphysik, 1. — **Sirk**: Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften, 4, Übungen, 2; Elemente der theoretischen Physik, 2. — **Seidl**: Nieder- und hochfrequenter Wechselstrom, Wechselstromversuche, 2. — **Karlik**: Radioaktive Meßmethoden, 1. — **Schintlmeister**: Physikalische Meßtechnik (Ergänzung zum Physikalischen Praktikum), 1. — **Herzog**: Einführung in die funktionentheoretische Behandlung physikalischer Probleme II: Elliptische Integrale und Funktionen, 2. — **Wambacher**: Höhenstrahlung, 1. — **v. Ficker**: Allgemeine Klimatologie, 3; Meteorologische Übungen, für Anfänger, 2; Meteorologisches Kolloquium, 2. — **Schedler**: Einführung in die Geophysik, 1. —

Universität Würzburg. **Harms**: Experimentalphysik: Elektrizitätslehre, Optik, 3, für Fortgeschrittene, 2; Physikalische Übungen für Anfänger, 3 und 6, für Mediziner, 2, für Fortgeschrittene, halbtägig; Wissenschaftliche Arbeiten im Physikalischen Institut, tägl. — **Ott**: Einführung in die Theoretische Physik, I, 4, Übungen, 1; Thermodynamik, 2. —

Universität Zürich. **Meyer**: Experimentalphysik: Elektrizität und Optik, 5, Ergänzungen, 1, Seminar (mit Zuber), 2 *g*; Physikalisches Praktikum, für Anfänger, $3^1/_2$, für Vorgerückte, halbtägig; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Wentzel und Zuber), 2 *g*. — **Wentzel**: Quantentheorie, 4, Übungen, 1; Ausgewählte Kapitel der Kristallphysik, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar (mit Stueckelberg), 2 *g*. — **Ratnowsky**: Relativitätstheorie, 2. — **Zuber**: Ausgewählte Kapitel des Magnetismus, 1; Repetitorium der Experimentalphysik, 1. —

Technische Hochschule Zürich. **Scherrer:** Physik II: Elektrizität, Magnetismus, Atombau, 4, Übungen, 1; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, 6 und 8, für Fortgeschrittene, 8, 12 und 24; Selbständige Arbeiten in Physik, 8, 12 und 24; Atomumwandlung und künstliche Radioaktivität, 2; Physikalisches Kolloquium, 2. — **Tank:** Experimentalphysik: Optik und Wärmelehre, 3, Übungen, 1; Hochfrequenztechnik I, 2, Praktikum, 4, 8 und 12; Selbständige Arbeiten auf dem Gebiete der Hochfrequenztechnik, 8, 12 und 24; Diplomarbeiten in Hochfrequenztechnik. — **Fischer:** Probleme des Fernsehens, II, 2, Leitung selbständiger Arbeiten im Institut für technische Physik, tägl. — **Amberg:** Allgemeine Didaktik des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts, 2. — **Brandenberger:** Kristallstrukturlehre, mit Übungen, 2. — **Busch:** Kurs in Glasblasen, für Physiker, 2. — **Favre:** Mechanik, I, 6, Kolloquium, 1, Übungen, 3, III, 2, Übungen, 1. — **Gassmann:** Mathematisch-physikalischer Vorkurs zur Geophysik, 2; Allgemeine Geophysik, 1; Geophysikalisches Praktikum, 3. — **Gsell:** Luftfahrt-Navigation, 2; Technische Organisation des Luftverkehrs: Wetterdienst, Funkdienst, Befeuerung, 1. — **Lugeon:** Übungen zur allgemeinen Meteorologie mit Rücksicht auf das Flugwesen, 2. — **Osswald:** Leitung selbständiger Arbeiten im Laboratorium für Akustik, tägl. — **Ott:** Technische und exakte Gasanalyse, 1, Übungen, 1. — **Rüst:** Photographie II: Edle Reproduktionsverfahren, Farbenphotographie, 1; Photographisches Praktikum, 2; Photographisches Vollpraktikum, tägl. — **Sänger:** Spektroskopie, 2. — **Waldmeier:** Praktische Astrophysik, 1; Selbständige astrophysikalische Arbeiten, tägl. — **Wentzel:** Quantentheorie, 4, Übungen (Theoretisch-physikalisches Proseminar) 1; Ausgewählte Kapitel der Kristallphysik, 2. —

NACHRICHTEN

Der Vorsitz der DECHEMA Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen ist von Professor Dr., Dr. Ing. e. h., Dr. phil. nat. h. c. Paul Duden, auf Generaldirektor Dr. Ing. e. h. Alfred Pott, Gleiwitz übergegangen.

Dozenturen: An der Hansischen Universität Hamburg Dr. Hans Sueß für physikalische Chemie, an der Universität Freiburg i. Br. Dr. Helmut Gericke für reine Mathematik, an der Technischen Hochschule Brünn Dr. Josef Holluta für physikalische und Elektrochemie, an der Universität Halle Dr. Wilhelm Stollenwerk (bisher in Bonn) für Chemie, an der Universität Königsberg Dr. Friedrich Bachmann (bisher in Marburg) für Mathematik, an der Universität Göttingen Dr. Rudolf Grewe für organische Chemie, an der Technischen Hochschule München Dr. Josef Heinhold für reine und angewandte Mathematik, an der Universität Graz Dr. Fritz Borgnis für Physik, an der Technischen Hochschule Graz Dr. Ludwig Kahovec für physikalische Chemie, an der Technischen Hochschule Karlsruhe Dr. Roman Skrabal für physikalische Chemie.

Ernannt: Der a. o. Professor für organische Chemie und Technologie an der Technischen Hochschule Danzig Dr. Henry Albers zum ordentlichen Professor ebenda, der außerplanmäßige Professor an der Technischen Hochschule Wien Dr. Hermann Schmid zum ordentlichen Professor der physikalischen Chemie daselbst, der ordentliche Professor der Experimentalphysik an der Universität Debrecen Dr. Zoltan Gyulai in gleicher Eigenschaft an der Universität Kolozsvár, Ungarn, Dr. Ernst Galle zum ordentlichen Professor für physikalische Chemie an der Deutschen Technischen Hochschule Brünn.

Berufung: Der außerplanmäßige Professor an der Universität Hamburg Dr. Hans Schmalfuß und der ordentliche Professor an der Universität Frankfurt a. M. Dr. Wilhelm Jordan zu ordentlichen Professoren der Chemie an die Universität Straßburg.

Neuer Lehrauftrag: Der Direktor im Reichswetterdienst Dr. Hermann Noth in Wien an der Universität daselbst für Meteorologie, an der Universität Göttingen der wissenschaftliche Assistent Dr. Wilhelm Jessen für anorganische und organische Chemie, der außerplanmäßige Professor an der Universität Göttingen Dr. Wilhelm Hanle für die ordentliche Professur für Experimentalphysik an die Universität Gießen, an der Technischen Hochschule Hannover Dr.-Ing. Karl Brünger für chemische Technologie des Kautschuks.

Ehrung: Dem ordentlichen Professor für chemische Physik an der Universität Göttingen Dr. Arnold Eucken wurde von der Akademie von Italien in Rom der Preis „Stanislaus Canizzari" verliehen.

Gestorben: Der ordentliche Professor für angewandte Mathematik und Strömungslehre an der Technischen Hochschule Aachen Dr. Carl Wieselsberger, der ordentliche Professor für mechanische Technologie und Materialprüfung an der Technischen Hochschule Karlsruhe Dr. Arthur Keßner, der frühere ordentliche Professor der Experimentalphysik an der Universität Utrecht Dr. L. S. Ornstein, der frühere ordentliche Professor der Mathematik an der Universität Marburg Geh. Regierungsrat Dr. Kurt Hensel.

Berichtigung zum Artikel J. Beck, Konstruktion einer 10-kW-Drehanodenröntgenröhre nebst Versuchen über die Struktur von Salzlösungen. (Physik. Zeitschr. **40**, 474, 1939.)

Bei der Beschreibung der Röhre auf S. 475 werden unter a) (Lagerung und Dichtung der Welle) „handelsübliche Hutmanschetten aus einer Mischung von Buna und Lederfasern" aufgeführt. Diese Hutmanschetten bestehen aber nach Mitteilung der Lieferfirma, Carl Freudenberg, Weinheim, Bergstraße, Simmerwerk, aus einem homogenen Perbunan-Vulkanisat Simrit, also nicht aus einer Mischung von Buna und Lederfasern.

Berichtigung. Das in Heft 4/5, S. 81–88, abgedruckte Vorlesungsverzeichnis bezeichnet die Vorlesungen für das Trimester 1941. Das Vorlesungsverzeichnis für das Sommersemester 1941 gelangt in dieser Nummer zum Abdruck.

Verantwortlicher Schriftleiter: i. V. Dr. Ludwig Bewilogua, Berlin. — Für den Anzeigenteil verantwortlich: A. Plohmann, Leipzig. — Verlag S. Hirzel, Leipzig C 1, Königstr. 2. — Druck: Bibliographisches Institut AG., Leipzig. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste 3. — Printed in Germany